NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y/O PLUVIAL

AGUAS DE BARRANCABERMEJA S.A. E.S.P.

CONTROL DE CAMBIOS		
VERSION	**FECHA DE APROBACION**	**DESCRIPCION DEL CAMBIO**

	ELABORADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
Cargo	Profesional de Apoyo	Subgerente de Operaciones	Jefe Unidad de Alcantarillado	Gerente
Nombre	Daniel Camilo Prada Millán	Gustavo Calderón Silva	Juan Manuel Alfonso Moreno	Jorge Norberto Ferreira Ballesteros
Firma				
Fecha	Diciembre 5 de 2013	Enero de 2014	Enero de 2014	03-04-2014

CONTENIDO

SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS 10

1. TIPOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO 10

1.1 SISTEMA COMBINADO 10
1.2 SISTEMA SEPARADO 10

2. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS 11

2.1 PASO 1 - DEFINICIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD 11
2.2 PASO 2 – ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 12
2.3 PASO 3 – CONOCIMIENTO DEL MARCO INSTITUCIONAL 13
2.4 PASO 4 – ACCIONES LEGALES 13
2.5 PASO 5 - ASPECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS. 13
2.6 PASO 6 - UBICACIÓN DENTRO DE LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO URBANO PREVISTOS 14
2.7 PASO 7 – ESTUDIOS DE LA ZONA DEL PROYECTO 14
2.8 PASO 8 – EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA 16

3. HIDRAULICA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO 21

3.1 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LAS TUBERÍAS 21
3.2 ECUACIONES DE FLUJO UNIFORME PARA EL DISEÑO DE TUBERÍAS 22
3.3 ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH EN CONJUNTO CON LA ECUACIÓN DE COLEBROOK-WHITE 22
3.4 CALIDAD DE AGUA EN LA RED DE ALCANTARILLADO 23

4. DISEÑO DE REDES 24

4.1 DIÁMETROS DE LA TUBERÍA 24
4.2 DISEÑO HIDRÁULICO 24
4.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD 24
4.4 RÉGIMEN DE FLUJO 25

4.5 GENERALIDADES DE LAS TUBERÍAS 26
4.5.1 PENDIENTES 26
4.5.2 CAMBIOS BRUSCOS DE LA PENDIENTE 26
4.5.3 UBICACIÓN 26
4.5.4 DISTANCIAS MÍNIMAS A OTRAS REDES Y A LOS PARAMENTOS 27
4.5.5 UNIÓN DE TUBERÍAS 27
4.5.6 UNIÓN DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SIMPLIFICADO 28
4.5.7 CAMBIOS DE DIRECCIÓN DE LAS TUBERÍAS 28

5. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO 29

5.1 POBLACIÓN FUTURA 29
5.1.1 MÉTODO ARITMÉTICO 29
5.1.2 MÉTODO GEOMÉTRICO 29
5.1.3 MÉTODO EXPONENCIAL 30
5.2 AJUSTE POR LA POBLACIÓN FLOTENTE Y POR LA POBLACIÓN MIGRATORIA 30
5.3 APORTE DE AGUAS RESIDUALES AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO 30
5.4 CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES 33
5.5 CAUDAL MAXIMO HORARIO DE AGUAS RESIDUALES 33
5.6 CAUDAL DE DISEÑO DE AGUAS RESIDUALES 34
5.7 DIAMETRO INTERNO MINIMO DE TUBERÍA 35
5.8 VELOCIDAD MINIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO 35
5.9 VELOCIDAD MAXIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO 36
5.10 PENDIENTE MINIMA DE LA TUBERIA 37
5.11 PENDIENTE MAXIMA DE LA TUBERIA 37
5.12 PROFUNDIDAD HIDRAULICA MAXIMA 37
5.13 PROFUNDIDAD MINIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA 37
5.14 PROFUNDIDAD MAXIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA 38

6. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL 38

6.1 ÀREAS DE DRENAJE 38
6.2 CAUDAL DE DISEÑO 38
6.3 CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA. 39
6.4 PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO 40
6.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 41
6.5.1 TIEMPO DE ENTRADA 41

6.5.2 TIEMPO DE RECORRIDO 43
6.6 INTENSIDAD DE LLUVIA 43
6.7 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA 44
6.8 DIÁMETRO MÍNIMO 45
6.9 APORTE DE SEDIMENTOS 45
6.10 VELOCIDAD MINIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL 45
6.11 VELOCIDAD MAXIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL 45
6.12 PENDIENTE MINIMA DE LA TUBERIA 46
6.13 PENDIENTE MAXIMA DE LA TUBERIA 46
6.14 PROFUNDIDAD HIDRAULICA MAXIMA 46
6.15 PROFUNDIDAD MINIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA 46
6.16 PROFUNDIDAD MAXIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA 47

7. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO COMBINADO 47

7.1 CONSIDERACIONES GENERALES 47
7.2 CAUDAL DE DISEÑO 47
7.3 PARAMETROS DE DISEÑO 48

8. OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y/O PLUVIAL 48

8.1 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO 48
8.1.1 ENSAYO DE INFILTRACIÓN 49
8.1.2 ENSAYO DE EXFILTRACIÓN 49
8.1.3 ENSAYO DE HERMETICIDAD CON AIRE 49
8.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO 50
8.2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO 50
8.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO 50
8.3 MEDICIÓN DE CAUDAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO 50
8.4 CONTROL DE GASES 51
8.5 CONTROL DE LOS VERTIMIENTOS INDUSTRIALES 51

9. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS 51

9.1 ALCANCE 51

9.2 CONSIDERACIÓN GENERALES 51
9.3 ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN DE TUBERIAS Y POZOS DE INSPECCIÓN 51
9.3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO 52
9.3.2 MÉTODOS DE CÁLCULO 53
9.4 CAMARA DE CAIDA 55
9.4.1 CONSIDERACIONES PARA SU PROYECCIÓN 56
9.4.2 PARÁMETROS DE DISEÑO 56
9.4.3 CÁMARAS DE CAÍDA BAJO RÉGIMEN SUPERCRÍTICO 57
9.5 SUMIDEROS 58
9.5.1 CONSIDERACIONES PARA SU DISEÑO 59
9.5.2 PARÁMETROS DE DISEÑO 59
9.5.3 CÁLCULO DEL CAUDAL EN LA CUNETA 59
9.5.4 TIPOS DE SUMIDEROS 60
9.6 ALIVIADEROS 61
9.6.1 CONSIDERACIONES GENERALES 62
9.6.2 ESTUDIOS PREVIOS 62
9.6.3 PARÁMETROS DE DISEÑO 62
9.6.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ALIVIADERO PARA VERTEDERO LATERAL 64
9.6.5 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ALIVIADERO PARA VERTEDERO TRANSVERSAL 65
9.7. TRANSICIONES 67
9.7.1 PARÁMETROS DE DISEÑO 67
9.8 SIFONES INVERTIDOS 68
9.8.1. CONSIDERACIONES PARA SU PROYECCIÓN 68
9.8.2. PARÁMETROS DE DISEÑO 68
9.8.3 MÉTODOS DE CÁLCULO 69
9.8.4 SIFÓN INVERTIDO SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO 70
9.8.5 ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA. 71
9.8.5.1 CANALES ESCALONADOS 72

10. DISEÑOS ESTRUCTURALES Y CIMENTACIÓN DE LAS TUBERÍAS 73

10.1 CARGAS EXTERNAS A UNA TUBERÍA 74
10.1.1 CÁLCULO DE LAS CARGAS EXTERNAS 74
10.2 TIPOS DE CIMENTACIÓN 82
10.2.1 CAPA DE CIMENTACIÓN 82
10.2.2 ZONA DE ATRAQUE 82
10.2.3 RELLENO FINAL 83

10.2.4 CIMENTACIÓN CLASE C 84
10.2.5 CIMENTACIÓN CLASE B 84
10.2.6 CIMENTACIÓN CON RELLENO DE DENSIDAD CONTROLADA 85
10.2.7 CIMENTACIÓN CON ATRAQUE CON PIEDRA TRITURADA 86
10.2.8 CIMENTACIÓN CLASE A "CUNA DE CONCRETO" 86
10.2.9 CIMENTACIÓN CLASE A "ARCO DE CONCRETO" 87

11. ESTACIONES ELEVADORAS Y DE BOMBEO 88

11.1 ALCANCE 88
11.2 ESTUDIOS PRELIMINARES 88
11.2.1 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO 88
11.2.2 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA ZONA 89
11.2.3 ESTUDIO DE LA CANTIDAD DE AGUA A SER BOMBEADA 89
11.2.4 CONDICIONES DE LA ZONA DEL PROYECTO 89
11.2.5 TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DEL PROYECTO 90
11.2.6 GEOLOGÍA Y AMENAZA SÍSMICA 90
11.2.7 DISPONIBILIDAD Y CAPACIDAD DE LA RED ELÉCTRICA 91
11.2.8 ESTUDIO A LA CALIDAD DEL AGUA 91
11.2.9 ESTUDIO DE SUELOS 91
11.3 CONDICIONES GENERALES 91
11.3.1 CONSIDERACIONES PARA LA UBICACIÓN Y PRECAUCIONES CON LA ESTACIÓN ELEVADORA Y/O DE BOMBEO 91
11.3.2 FACILIDAD DE INGRESO Y SALIDA A LA ESTACIÓN 92
11.4 PARÁMETROS DE DISEÑO 92
11.4.1 PERÍODO DE DISEÑO 92
11.4.2 CAUDAL DE DISEÑO 93
11.4.3 LAGUNAS DE AMORTIZACIÓN Y PONDAJES 93
11.4.5 TUBERÍA DE ENTRADA A LA ESTACIÓN 93
11.4.6 MATERIALES PARA LA ESTACIÓN 93
11.4.7 TIPO DE BOMBAS PARA LA ESTACIÓN 94
11.4.8 NÚMERO DE BOMBAS PARA LA ESTACIÓN 95
11.4.9 POZO DE SUCCIÓN 96
11.4.10 REJILLAS DE LIMPIEZA 97
11.4.11 POTENCIA DE LAS BOMBAS Y MOTORES 97
11.4.12 DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE IMPULSIÓN Y SUCCIÓN 98
11.4.13 VELOCIDAD EN LAS TUBERÍAS DE IMPULSIÓN Y SUCCIÓN 98

11.4.14 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE IMPULSIÓN Y SUCCIÓN 99
11.5 INSTALACIONES DE LA ESTACIÓN ELEVADORA Y/O DE BOMBEO 100
11.5.1 SALA DE BOMBAS 100
11.5.2 MEDICIÓN Y CONTROL DE LA ESTACIÓN ELEVADORA Y/O DE BOMBEO 100
11.5.3 SALA DE CONTROL 101
11.5.4 ACCESOS Y ESCALERAS 101
11.5.5 ILUMINACIÓN 101
11.5.6 SEÑALIZACIÓN 102
11.5.7 VENTILACIÓN 102
11.5.8 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS 102
11.5.9 EQUIPOS DE MOVILIZACIÓN 102
11.5.10 DRENAJE DE PISOS 103
11.5.11 AISLAMIENTO ACÚSTICO 103
11.5.12 INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS 103
11.6 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO 103
11.7 DISEÑO DE LAS ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO 104
11.7.1 CÁLCULO HIDRÁULICO DE TUBERÍAS SIMPLES 104
11.7.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN 105
11.7.3 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS MENORES 107
11.7.4 CÁLCULO HIDRÁULICO CON LA ECUACIÓN DE HAZEN-WILLIAMS 109
11.7.5 BOMBAS CENTRÍFUGAS Y EYECTORAS 110
11.7.6 BOMBAS HELICOIDALES 113
11.7.7 CORROSIÓN EN TUBERÍAS 117
11.7.8 RECUBRIMIENTOS Y PROTECCIÓN DE TUBERÍAS 117
11.7.9 GOLPE DE ARIETE EN ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO 119
11.7.10 EFICIENCIA EN EL BOMBEO 120
11.7.11 VÁLVULAS Y ACCESORIOS PARA LAS ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO 120
11.7.12 INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LAS ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO 121
11.7.13 PROTOCOLOS DE PRUEBA DEL DISEÑO 124
11.7.14 USO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO 124
11.8 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN 125
11.8.1 INSPECCIONES PRELIMINARES 125
11.8.2 PRUEBAS PRELIMINARES 125
11.8.3 PRUEBAS HIDROSTÁTICAS PARA TUBERÍAS DE IMPULSIÓN 126
11.8.4 MEDICIÓN DE CAUDALES 127
11.8.5 LÍNEA PIEZOMÉTRICA DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN 127
11.8.6 GOLPE DE ARIETE 127

11.8.7 ACCESORIOS Y VÁLVULAS 128
11.8.8 VÁLVULAS DE CHEQUE 128
11.9 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN 128
11.9.1 MEDICIONES DE CAUDAL 129
11.9.2 GOLPE DE ARIETE 129
11.9.3 LÍNEA PIEZOMÉTRICA 129
11.9.4 INSTRUMENTACIÓN Y TELEMETRÍA EN LAS TUBERÍAS DE IMPULSIÓN 129
11.9.5 PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA 130
11.9.6 USO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LA OPERACIÓN 130
11.10 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN 131
11.10.1 EQUIPOS ELÉCTRICOS 131
11.10.2 EQUIPOS DE BOMBEO Y PROTECCIÓN ELÉCTRICA 131
11.10.3 POZO DE SUCCIÓN 132
11.10.4 MANTENIMIENTO DE ACCESORIOS 132

12. PROYECTOS DE VIVIENDA 132

12.1 ALCANCE 132
12.2 CONSIDERACIONES GENERALES 132
12.2.1 CONSIDERACIONES PARA REDES PRIVADAS 132
12.2.2 CONSIDERACIONES PARA REDES PÚBLICAS 133
12.3 CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE DISPONIBILIDAD 133
12.4 CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE DISEÑOS 134
12.5 PARÁMETROS DE DISEÑO 134
12.5.1 PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO 134
12.5.2 DISEÑO DE ACOMETIDAS 135
12.5.3 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED RECEPTORA 135

13. ASPECTOS AMBIENTALES 136

13.1 ALCANCE 136
13.2 LEYES DE CONTROL TERRITORIAL Y AMBIENTAL 136
13.2.1 PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 136
13.2.2 SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN OBRAS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y/O PLUVIAL. 136
13.2.3 LICENCIA DE CONSTRUCCIÓN 137
13.3 PERMISO ANTE LAS ENTIDADES NACIONALES Y LOCALES 137
13.3.1 PERMISO DE OCUPACIÓN DE CAUCES 137

13.3.2 PERMISO DE VERTIMIENTO 138
13.3.3 PERMISO DE APROVECHAMIENTO FORESTAL 138
13.3.4 MANEJO DE IMPACTO COMUNITARIO Y SEÑALIZACIÓN DURANTE LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO 138
13.4 ASPECTOS AMBIENTALES ESPECÍFICOS PARA LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO 138
13.4.1 REDES DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS 138
13.4.2 ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO 140

14. INTERVENTORÍA DE DISEÑOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO 141

14.1 ALCANCE 141
14.2 PERSONAL DE LA INTERVENTORÍA Y DE LOS DISEÑOS 141
14.3 INTERVENTORÍA DE DISEÑO 142
14.3.1 FUNCIONES PRINCIPALES DE LA INTERVENTORÍA DE DISEÑO 142
14.3.2 VERIFICACIÓN DE PROTOCOLOS DE PRUEBAS 142

SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS

1. TIPOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

En Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P., se utilizan dos tipos de sistema de alcantarillado de aguas residuales y /o lluvias convencional, por lo cual las aguas recolectadas son llevadas hasta los sitios de disposición final o hasta las plantas de tratamiento. Los tipos de sistemas convencionales son:

Alcantarillado combinado: las aguas residuales y las aguas lluvias recolectadas son transportadas por las mismas tuberías.

Alcantarillados separados: las aguas residuales y las aguas lluvias recolectadas son transportadas por diferentes sistemas de tuberías.

El tipo de sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial elegido por el diseñador debe ser justificado técnica y económicamente, para que allá un soporte del procedimiento realizado.

1.1 Sistema Combinado

El sistema combinado solo será usado en áreas donde se presenten inconvenientes para usar sistemas separados debido a que no se prestan las condiciones mínimas para construirlo adecuadamente. Su utilización requiere un informe de tipo técnico, ambiental y económico que el diseñador debe presentar a Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

1.2 Sistema Separado

El sistema separado se debe utilizar en aquellas áreas que no cuentan con sistemas de alcantarillado. Este sistema se toma como primera opción si los niveles de la zona del proyecto permiten que la evacuación de aguas lluvias se haga por escorrentía superficial o si el nuevo sistema va a ser conectado a un alcantarillado separado.

2. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS

A continuación son descriptos los pasos a seguir para realizar el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial de modo que estos alcancen los objetivos buscados con la ejecución de estos proyectos para satisfacer las necesidades de la comunidad.

Estos pasos pueden utilizarse conjuntamente para varios proyectos, siempre y cuando hagan parte del mismo sistema de alcantarillado.

2.1 Definición del Nivel de Complejidad

Para definir el nivel de complejidad del sistema de alcantarillado se deben tener en cuenta los tres (3) puntos descriptos a continuación:

1. El Nivel de Complejidad del Sistema para Barrancabermeja, de acuerdo con el RAS y teniendo en cuenta el número de habitantes y el grado de exigencia técnica que deben tener los proyectos de agua potable y saneamiento básico en este municipio, es Alto.

2. La clasificación del proyecto de alcantarillado depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, de su capacidad socioeconómica o del nivel de dificultad técnica que se requiera para llevar a cabo el proyecto, de acuerdo con lo establecido en la siguiente Tabla.

Tabla A.3.1 RAS 2000 Asignación del Nivel de Complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes) (1)	Capacidad económica de los usuarios (2)
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Notas:
(1) Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.
(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado.

3. La asignación del Nivel de Complejidad de todos los proyectos de recolección de aguas residuales y/o lluvias debe hacerse siguiendo los aspectos mencionados a continuación:

- Para definir el nivel de complejidad se toma como referencia la población proyectada en la zona urbana de Barrancabermeja en el periodo de diseño de cada sistema de alcantarillado de sus componentes. Debe considerarse la población flotante.

- Se elige el nivel de complejidad que resulte mayor entre el obtenido con la población urbana y la capacidad económica.

- Las metodologías utilizadas para determinar la capacidad económica de los usuarios del sistema de alcantarillado son las siguientes:

a) La estratificación de los municipios utilizando la metodología establecida por el DNP.
b) Los salarios promedio del municipio.
c) El ingreso personal promedio del municipio.
d) O cualquier otro método justificado.

2.2 Alcance y Justificación del proyecto

Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P., debe justificar claramente el propósito a alcanzar con el desarrollo de los proyectos de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial para beneficiar a los habitantes de la zona donde se realizaran las obras.

En la justificación Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P., debe describir el problema a solucionar y el objetivo del proyecto. Los problemas a solucionar debe expresarse en términos de las siguientes condiciones:

- El sector del proyecto no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial o el sistema existente no tiene una buena cobertura y calidad.

- La presencia de problemas de salud pública y deterioro del medio ambiente que pueden ser solucionados con la ejecución del proyecto.

Los objetivos que Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. busca lograr con la ejecución de los proyectos son tener un peso significativo dentro de los costos y beneficios, permitir la comparación de la situación actual y futura, ser medible y

cuantificable en el tiempo y estar de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial de la Zona.

2.3 Conocimiento del Marco Institucional

El diseñador debe conocer las entidades relacionadas con la prestación del servicio público de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial, para establecer responsabilidades y las funciones de cada una de ellas. Las entidades y aspectos que deben identificarse son:

- Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.
- Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
- Empresa prestadora del servicio. (Oficial, mixto o privado).
- Entidades territoriales competentes.
- Entidades de planeación. (DNP, Ministerio del Medio Ambiente, etc.).
- Entidad reguladora. (Comisión de Regulación de Agua Potable y saneamiento Básico CRA).
- Entidad de vigilancia y control. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD u otra).
- Autoridad ambiental competente. (Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales, etc.).

2.4 Acciones Legales

Antes de comenzar el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial, se deben conocer todas las leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas que estén relacionadas con la conceptualización, el diseño, la operación, la construcción, el mantenimiento, la supervisión técnica y la operación de este tipo de sistemas.

Además se debe tomar las medidas legales necesarias para garantizar un buen desarrollo de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial, o de sus componentes.

2.5 Aspectos ambientales relacionados con los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias.

El diseñador debe consultar el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV vigente de Barrancabermeja para conocer el efecto de las aguas residuales sobre los cuerpos receptores.

Para los proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial en que se requiera, Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. debe presentar un plan de manejo ambiental, dando una descripción de las obras que puedan causar efectos negativos en el medio ambiente y las acciones de mitigación pertinentes.

Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. debe obtener el permiso correspondiente expedido por la autoridad ambiental competente antes de dar inicio a las obras de construcción de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial en los casos que sea necesario.

2.6 Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos

Para el diseño de un proyecto se deben conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997 o la que la reemplace y establecer las implicaciones que el sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial tendría dentro de la dinámica del desarrollo urbano de Barrancabermeja.

En particular, el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial debe contemplar la dinámica de desarrollo urbano prevista en el corto, mediano y largo plazo de las áreas habitadas y las proyectadas en los próximos años, teniendo en cuenta la utilización del suelo, la estratificación socioeconómica, el plan vial y las zonas de conservación del municipio y protección de recursos naturales y ambientales entre otros.

2.7 Estudios de la zona del proyecto

Antes de dar inicio a los diseños de un proyecto de alcantarillado sanitario y/o pluvial se debe tener conocimiento de las condiciones económicas, físicas y sociales de la zona donde se ejecutaran las obras.

A continuación se describen los estudios previos a la realización de un diseño:

Climatología: se debe tener un registro de la información climatológica y meteorológica de utilidad, para tener en cuenta los recursos hídricos que puedan ser receptores para los proyectos de sistemas de alcantarillado pluvial y/o combinado.

Estudio de suelos: se deben realizar unos estudios que aporten la información general del área donde será ejecutado el proyecto y así poder establecer las características de las principales formaciones geológicas, geomorfológicas y fisiográficas de la región, para ubicar las fallas geológicas activas localizadas en el área del proyecto. Un estudio de suelos debe contemplar lo siguiente:

- La clasificación del suelo.
- La permeabilidad.
- El nivel freático.
- Las características físico-mecánicas.

En caso de que el diseñador requiera unos estudios de suelos más detallados debe establecer las razones por las cuales los solicita.

Topografía: se debe realizar un completo levantamiento topográfico sobre el cual se pueda realizar el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial.

Descripción de la infraestructura y de las redes existentes: se deben identificar las diferentes obras de infraestructura existentes y proyectadas que se encuentren dentro de la zona de influencia del sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial. Se debe tener registro de la ubicación de otras redes de servicios públicos (gas, teléfono y energía) dentro de la zona del proyecto para evitar que se presenten interferencias durante la construcción y funcionamiento del sistema de alcantarillado.

Descripción y/o diagnóstico del actual sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial: el diseñador debe evaluar el funcionamiento del sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial existente en la zona donde se ejecutara la obra, para tener en cuenta cual sería el funcionamiento al conectarse con la red del nuevo diseño. También debe conocer los probables cuerpos receptores de las aguas lluvias o donde se puedan conectar las descargas de los alivios en sistemas de alcantarillado combinado.

El diseñador debe conocer y dejar registros de:

- El tipo de sistema de alcantarillado, materiales y edad de las tuberías, redes de tuberías, ubicación de los pozos de conexión e inspección y cualquier estructura que haga parte del sistema de alcantarillado.
- La capacidad hidráulica del sistema y el caudal descargado a los cuerpos receptores.

- El Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.
- Las sugerencias y peticiones de la comunidad sobre el funcionamiento del sistema de alcantarillado.
- Los mantenimientos realizados al sistema de alcantarillado en la zona del proyecto y la ubicación de los puntos donde se han presentado mayores inconvenientes.

Sitio de descarga del sistema de alcantarillado:

El diseñador debe conocer los aspectos hidráulicos del cuerpo de agua cercano a la zona del proyecto sobre la cual se puedan entregar las aguas lluvias o conectar las descargas de los alivios en sistemas de alcantarillado combinado.

Cuando Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. lo considere conveniente entregara al diseñador la información del cuerpo de agua receptor del sistema de alcantarillado. Dentro de la información suministrada deben incluirse el caudal máximo y mínimo, velocidad de flujo, socavación, transporte de sedimentos y la pendiente.

2.8 Evaluación Socioeconómica

Debe realizarse una evaluación socioeconómica a los proyectos de construcción de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial para tener en cuenta el aporte neto al bienestar de la comunidad. Los estudios socioeconómicos que deben realizarse son el análisis de Costo Eficiencia y el análisis de Costo Mínimo de Expansiones de capacidad.

Para realizar la evaluación socioeconómica es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Tasa social de descuento: antes de realizar el diseño se debe evaluar la tasa social de descuento del sistema de alcantarillado. En esta evaluación se debe justificar el resultado teniendo en cuenta los beneficios propios del proyecto. El valor de la tasa social de descuento será dado por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

- Costo de oportunidad de capital: se debe evaluar el costo de otros beneficios que se aplazan por utilizar los recursos en el proyecto.

- Beneficios: este es el costo medido según sea la eficiencia del sistema en estudio y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

- Economía de escala: es el estudio que debe realizarse para evaluar si cuando disminuyan los costos de expansión al mismo tiempo aumenta la capacidad de recolección del sistema de alcantarillado.

- Funciones de costo: si existe economía de escala la fórmula de las funciones de costo es la siguiente:

Ecuación A.2-1 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$C(K) = a * K^b$$

a = constante que depende del tipo de sistema de alcantarillado.
K = capacidad del sistema (m^3/s).
b = factor de economía de escala.

El valor que utilice como factor de economía de escala para el proyecto debe presentarse junto con el análisis que lo apruebe, o puede ser dado por la comparación con funciones de costo de otros proyectos diseñados por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

Además, para el factor de economía de escala pueden ser utilizados los valores dados en la siguiente tabla.

Tabla A.2-1 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Factor de economía de escala para diferentes componentes de los sistemas

COMPONENTE	FACTOR DE ESCALA
Interceptores	0,50
Canales en concreto	0,49
Redes de alcantarillado	0,50

A continuación se da una descripción de los estudios de evaluación socioeconómica:

Análisis Costo Eficiencia

El análisis de costo eficiencia es realizar la comparación de los costos de los diferentes diseños factibles para cada proyecto de alcantarillado sanitario y/o pluvial, para elegir la que tenga el menor valor presente neto para la ejecución de la obra, operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto.

Para el análisis de costo eficiencia debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- El valor de la tasa social de descuento será dado por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.
- Los beneficios de los diferentes diseños para cada proyecto deben ser los mismos.
- Tener en cuenta costos de componentes similares a los de cada diseño, dentro de los que incluyen ejecución de la obra, operación y mantenimiento.
- Para cada alternativa el beneficio debe ser claramente mayor que los costos.

Análisis de costo mínimo de expansión de capacidad

Este análisis se realiza para fijar el tiempo en años que resulte óptimo para ejecutar las obras de expansión de la capacidad de recolección del sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta el efecto opuesto que se presenta entre las economías de escala y el costo de oportunidad de capital.

Para definir el periodo de expansión de capacidad de recolección del sistema de alcantarillado debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Se debe fijar el equilibrio entre el periodo de expansión óptimo dado por las economías de escala que prefieren un periodo largo, buscando componentes de gran capacidad, y el periodo determinado por el costo de oportunidad de capital que tiende a ser un periodo corto con componentes de poca capacidad, buscando que los recursos disponibles puedan ser invertidos en otros proyectos.

- Al definir el periodo de expansión óptimo debe ser para todo el sistema de alcantarillado y no para un componente en particular, para de este modo evitar sobrecostos administrativos.

- El periodo seleccionado para el nuevo diseño puede ajustarse en cada etapa de expansión cuando existan estudios de demanda realizados durante dos expansiones sucesivas que demuestren cambios en las funciones de

demanda, y en general, en las condiciones que se formuló el periodo de expansión inicial.

El periodo de expansión óptimo puede ser el periodo en el cual la zona del proyecto alcance la población de saturación definida en el Plan de Ordenamiento Territorial de Barrancabermeja. En caso de que no se cumpla con la condición anterior debe establecerse un periodo de expansión óptimo, para lo cual se debe elegir una de las siguientes alternativas.

- Periodo de expansión óptimo con crecimiento lineal de la demanda: en este modelo la longitud del periodo de expansión no varía. La siguiente ecuación nos da el periodo de expansión del sistema de alcantarillado.

Ecuación A.2.1-2 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$b = \frac{r * t}{e^{r*t} - 1}$$

b = es el factor de economías de escala
r = es la tasa anual social de descuento
t = es el período de expansión en años

Otra forma de calcular el periodo de expansión es utilizando cualquiera de las siguientes formulas:

Ecuación A.2.1-3 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$t = \frac{6 * (1 - b^{1/3})}{r}$$

Ecuación A.2.1-4 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$t = \frac{2,6 * (1 - b)^{1/12}}{r}$$

- Periodo de expansión óptimo con crecimiento exponencial de la demanda: este modelo de expansión está dado por la siguiente ecuación.

Ecuación A.2.1-5 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\frac{b * g - r}{b * g} = \frac{1 - e^{b*g*t + r*t}}{1 - e^{g*t}}$$

g = es la tasa exponencial anual de crecimiento de la demanda.

- Déficit inicial de capacidad de recolección

Si se presenta un caso en el cual la capacidad del sistema de alcantarillado instalado no satisface la demanda, debe calcularse un periodo óptimo de expansión mayor al obtenido con las anteriores ecuaciones, para suplir la demanda no satisfecha y la demanda proyectada. En este debe utilizarse la siguiente ecuación.

Ecuación A.2.1-6 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$t_i = \frac{ln\left[\frac{b * (t_o + t_i)^{b-1}}{(1 - e^{r*t}) * r * t^b}\right]}{r}$$

t_o = es el período de retraso inicial con déficit de capacidad (años)
t_i = es el período óptimo de la expansión inicial de capacidad con déficit inicial (años)

El procedimiento que se debe seguir para realizar el análisis de costo mínimo de expansión de capacidad de recolección del sistema de alcantarillado es el siguiente:

- Definir la demanda actual y la demanda futura teniendo en cuenta los factores de crecimiento.

- Establecer las capacidades disponibles del actual sistema de alcantarillado y de cada uno de sus componentes.

- Establecer el déficit de capacidad de cada componente del sistema de alcantarillado.

- Hacer el cálculo en años del retraso de cada componente del sistema de alcantarillado.

- Determinar los valores de las variables y los coeficientes de las ecuaciones mostradas anteriormente.

- Definir los periodos óptimos de expansión de cada uno de los componentes del sistema de alcantarillado.

- Calcular para cada uno de los componentes el periodo óptimo de expansión inicial.

- Hacer los análisis de sensibilidad pertinentes a los periodos óptimos de expansión según los resultados de las ecuaciones.
- Definir el plan de expansión de costo mínimo para cada uno de los componentes del sistema de alcantarillado, ajustando los periodos óptimos para evitar expansiones muy continuas y sobrecostos en la administración.
- Hacer el presupuesto del proyecto del sistema de alcantarillado objeto del diseño.

3. HIDRAULICA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

3.1 Propiedades geométricas de las tuberías

Generalmente las tuberías de los sistemas de alcantarillado son circulares por lo cual el flujo no ocupa el área total de la sección transversal.

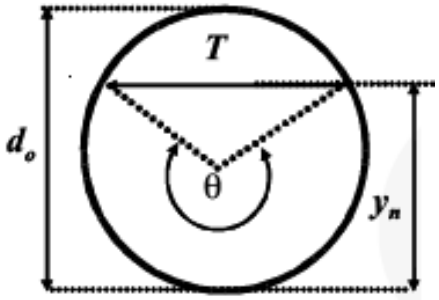


Figura 4-1 Características geométricas de la sección circular - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

El cálculo del ángulo subtendido desde el centro de la sección transversal a los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería se hace con la siguiente ecuación.

Ecuación 4-1 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{\theta = \pi + 2 * arc\ sen\left(\frac{y_n - \frac{d}{2}}{\frac{d}{2}}\right)}$$

θ = ángulo subtendido desde el centro de la sección transversal a los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería (rad).
y_n = profundidad normal del agua (m).
d = diámetro interno de la tubería (m).

El siguiente paso es el cálculo del área mojada de la sección transversal A (m^2).

Ecuación 4-2 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{A = \frac{1}{8} * (\theta - sen\theta) * d^2}$$

Para calcular el perímetro mojado P (m) con respecto al área mojada se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 4-3 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{P = \frac{1}{2} * \theta * d}$$

El radio hidráulico R (m) de la sección de la tubería representa la división del área mojada por el perímetro mojado y se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 4-4 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{R = \frac{d}{4} * \left(1 - \frac{sen\theta}{\theta}\right)}$$

El ancho de la superficie T (m) se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 4-5 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{T = d * cos\left(arc\ sen \frac{y_n - \frac{d}{2}}{\frac{d}{2}}\right)}$$

3.2 Ecuaciones de flujo uniforme para el diseño de tuberías

Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White o la ecuación de Manning se debe determinar la sección transversal de una tubería que presente la condición de flujo uniforme, pero para la utilización de dichas ecuaciones deben ser tenidas en cuenta las restricciones para su aplicación.

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

La ecuación de Darcy-Weisbach puede utilizarse para todo flujo turbulento, desde flujo turbulento hidráulicamente liso hasta flujo turbulento hidráulicamente rugoso.

Ecuación 4-6 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$h_f = f * \frac{L}{d} * \frac{d^2}{2 * g}$$

h_f = Pérdidas por fricción (m).
f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach (adimensional).
L = Longitud de la tubería (m).
v = Velocidad del flujo (m/s).
D= Diámetro interno real de la tubería (m).
g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
El factor de fricción de Darcy-Weisbach, se debe calcular utilizando la siguiente ecuación de Colebrook-White:

Ecuación 4-7 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * log_{10} * \left(\frac{k_s}{3.7 * d} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

k_s = Rugosidad absoluta (m).
R_e = Número de Reynolds (adimensional).

La siguiente ecuación surge de una combinación de las anteriores ecuaciones, la cual relaciona el caudal que fluye por la tubería estando bajo condición de flujo uniforme y trabajando en función de la rugosidad absoluta, del radio hidráulico de la sección transversal, de la pendiente de la tubería y de la viscosidad cinemática.

Ecuación 4-8 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$Q = -2 * A * \sqrt{8 * s * R * s_o} * log_{10} \left(\frac{k_s}{14.8 * R} + \frac{2.5 * L * v}{4 * R * \sqrt{8 * s * R * s_o}} \right)$$

Q = Caudal del flujo (m^3/s).
R = Radio hidráulico (m).
A = Área mojada transversal (m^2).
So = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).
υ = Viscosidad cinemática (m^2/s).

3.4 Calidad de agua en la red de alcantarillado

Los diseños de una red de alcantarillado sanitario y/o pluvial deben cumplir con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), teniendo en cuenta la caracterización de calidad de las aguas residuales, la cual debe ser realizada anualmente por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

En la caracterización de los vertimientos se evalúa el comportamiento de los siguientes parámetros:

- Demanda bioquímica de oxígeno. DBO5
- Demanda química de oxígeno. DQO
- Sólidos suspendidos totales. SST

4. DISEÑO DE REDES

En el diseño de una red lo más importante es determinar acertadamente el diámetro y la pendiente de las redes para conducir el caudal de diseño, evitar la sedimentación y contar con una adecuada operación.

4.1 Diámetros de la tubería

Para realizar el cálculo de los diseños hidráulicos debe ser tenido en cuenta el diámetro interno de la tubería y no el diámetro nominal.

4.2 Diseño hidráulico

La red debe diseñarse como conducciones a flujo libre por gravedad, ya que el flujo de las aguas residuales y pluviales no es uniforme, pero para tuberías de diámetro pequeño el dimensionamiento hidráulico de la sección puede hacerse suponiendo que hay un flujo uniforme. Este cálculo puede realizarse utilizando la ecuación de Manning.

Ecuación D.2.2 Titulo D RAS 2000

$$\boldsymbol{V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}}$$

v = velocidad media del flujo (m/s).
n = coeficiente de rugosidad de Manning ($s/m^{1/3}$).
R = radio hidráulico (m).
S = pendiente longitudinal de la tubería (m/m).

4.3 Coeficiente de rugosidad

Teniendo en cuenta que Barrancabermeja está dentro del Nivel de Complejidad Alto, el diseñador puede definir un valor del coeficiente de rugosidad para tuberías de pared lisa entre 0,009 y 0,013 pero debe soportar su decisión con una

sustentación técnico- económica, asumiendo que el sistema de alcantarillado opera adecuadamente.

4.4 Régimen de flujo

El régimen de flujo es calculado con la ecuación de Froude, con la cual se determina si es un régimen crítico, subcrítico o supercrítico.

Ecuación 4-13 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{Fr = \frac{V}{\sqrt{g * D}}}$$

v = velocidad de flujo (m/s).
Fr = número de Froude (adimensional).
g = aceleración de la gravedad (m/s^2).
D = profundidad hidráulica (m).

Ecuación 4-14 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{D = \frac{d}{8} * \frac{\theta - sen\theta}{sen\,(\frac{\theta}{2})}}$$

d = diámetro interno de la tubería (m)
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).

Si, Fr = 1 es crítico.
Fr < 1 es subcrítico.
Fr > 1 es supercrítico.

El flujo crítico o cuando el número de Froude está entre 0.7 y 1.5, se caracteriza por la inestabilidad y lo variable que es la profundidad de flujo alrededor de la profundidad crítica de flujo. Por lo que es recomendable que los diseños bajo flujo uniforme no tenga aquellas velocidades de flujo que generen que el número de Froude este dentro del intervalo mencionado. Si esto no es posible, el diseño debe analizar y contemplar todos los efectos que la inestabilidad inherente del flujo tenga sobre las estructuras de llegada al final del ducto diseñado y las formas apropiadas para resolver dichos problemas. Esto se debe tener en cuenta para evitar la socavación de la cámara de llegada y la generación de ruidos.

Cuando se presenta flujo supercrítico, en el diseño se debe tener precaución en la formación de ondas translacionales dentro de las tuberías. La presencia de este

tipo de ondas genera fuertes ruidos en las tuberías de alcantarillados, y la socavación por el impacto del flujo en la cámara de aguas abajo. Del mismo modo, debe ser tenido en cuenta los fuertes cambios de pendiente y la presencia de resaltos hidráulicos, para dar solución inmediata.

4.5 Generalidades de las tuberías

4.5.1 Pendientes

El diseñador debe tener en cuenta la topografía del terreno al momento de elegir la pendiente de las tuberías en el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial, para que la velocidad del flujo cumpla con las especificaciones dadas en los capítulos 5 y 6 de esta norma.

En casos en que la pendiente del terreno es alta debe establecerse cuantas estructuras de caída son necesarias para que los tramos cortos tengan una pendiente adecuada; pero si la pendiente es muy baja deben verificarse al detalle los esfuerzos cortantes.

4.5.2 Cambios bruscos de la pendiente

El diseñador debe tratar de evitar fuertes cambios de pendiente en la red de tubería, pero de ser necesario puede reducirse el diámetro de la tubería de salida, siempre y cuando sea mayor a 600 mm (24”). Para lo mencionado anteriormente deben ser tenidos en cuenta las condiciones hidráulicas en las estructuras de unión y en las tuberías, el aumento del caudal aguas abajo, y la operación y mantenimiento del sistema.

4.5.3 Ubicación

De ser posible las tuberías deben seguir el lineamiento de la calle (vía), pero si por la topografía o el costo es conveniente pueden ser colocadas en el andén. Si el sistema de alcantarillado está en un condominio puede ubicarse dentro de las manzanas.

Las tuberías de alcantarillado sanitario y/o pluvial no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de acueducto, y su cota clave siempre debe ser inferior que la de la tubería de acueducto.

La ubicación de las tuberías de los sistemas de aguas residuales debe ser colocada cerca del eje de la vía, y la tubería de aguas lluvias debe hacia un

costado, aproximadamente a un cuarto del ancho de la calzada, pero no puede ser inferior a 50 cm del bordillo. La tubería de aguas residuales nunca puede estar localizada al mismo costado de la vía de la tubería de acueducto. Cuando el sistema de alcantarillado es combinado las tuberías deben colocarse sobre el eje de la calzada.

4.5.4 Distancias mínimas a otras redes y a los paramentos

Las tuberías de las redes de alcantarillado sanitario y/o pluvial deben conservar una distancia mínima de las tuberías de otras redes de servicios públicos para evitar que se presenten inconvenientes. En los planos del proyecto debe estar registrada la ubicación de las redes de acueducto, alcantarillado, energía y telecomunicaciones.

A continuación se relacionan las condiciones a tener en cuenta:

- La distancia mínima entre las tuberías de aguas residuales y/o aguas lluvias y la de otra red de servicio público debe ser de 1,0m horizontalmente y 0,3m verticalmente.
- La distancia vertical se mide entre la cota clave de la tubería de alcantarillado y la cota batea de la tubería del otro servicio.
- Si la distancia vertical no cumple con la mencionada anteriormente debe tenerse especial cuidado en el cruce de las redes.

El diseñador debe garantizar que la distancia mínima a los paramentos en la zona del proyecto, garantice que todas las operaciones de mantenimiento, rehabilitación y/o renovación de las redes de alcantarillado puedan realizarse sin generar peligro a las zonas aledañas.

4.5.5 Unión de tuberías

Para la unión de tramos de tuberías deben construirse pozos de unión o estructuras-pozo. Estas estructuras deben diseñarse teniendo en cuenta lo establecido en el capítulo 9 de esta norma, y para su instalación debe cumplir con lo establecido en las especificaciones técnicas de construcción de redes de alcantarillado sanitario y/o pluvial de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

En el diseño hidráulico se tiene en cuenta el régimen de flujo de las tuberías de entrada y la de salida, y está basado en las perdidas de cabeza hidráulica que se producen por la unión de las tuberías.

Si el flujo no limita la distancia máxima entre los pozos de unión o estructuras-pozo ésta puede estar entre 100 y 120m, y la limpieza puede hacerse de forma manual; pero si el mantenimiento es mecánico o hidráulico se puede llegar a una distancia máxima de 200m. Si en las tuberías principales las entradas son restringidas, la distancia máxima entre las estructuras de inspección puede aumentarse hasta a 300m dependiendo del tipo de mantenimiento.

4.5.6 Unión de tuberías para sistemas de alcantarillado simplificado

En sistemas de alcantarillado simplificado se construyen terminales de limpieza y no los pozos de arranque cuando la red de tuberías está ubicada en una calle sin salida o en una calle secundaria de poco tráfico. Para estos sistemas de alcantarillado, con un diámetro máximo de tuberías de 150mm (6”), la distancia entre las cajas de inspección no puede exceder los 150m; pero para tuberías de mayor diámetro no debe exceder los 200m.

En los tramos intermedios de la red se pueden utilizar tubos de inspección y limpieza, y las cajas de paso sin inspección se usan en cambios de dirección, pendiente y diámetro, y si la pendiente de los colectores es mayor que 1% y la profundidad no sea mayor de 1,5m.

En el diseño de las estructuras de unión de colectores se deben tener en cuenta los criterios geotécnicos que se encuentran en los literales G.2.2 “Estudios Geotécnicos” y G.2.3 “Investigación del Subsuelo” del Título G “Aspectos Complementarios” del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000.

4.5.7 Cambios de dirección de las tuberías

El cambio de dirección de un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial debe hacerse con la construcción de una cámara o un pozo de inspección.

4.6 Perdidas de energía en las estructuras de conexión y en pozos de inspección

El cálculo de las pérdidas de energía debe hacerse siguiendo el procedimiento descripto en el literal 9.8.3 Pérdidas de energía.

5. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO

5.1 POBLACIÓN FUTURA

Deben establecerse la población actual y la población futura que se va a ver beneficiada con el proyecto. Esta estimación puede establecerse teniendo en cuenta los censos realizados por el DANE o por los censos de suscriptores del servicio de acueducto. Otro modo de estimar la población es el cálculo matemático.

5.1.1 Método Aritmético

En la utilización de este método se supone un crecimiento lineal teniendo en cuenta la emigración y mortalidad de los habitantes.

Ecuación Titulo B RAS 2000

$$\mathbf{P}_f = \boldsymbol{P_{uc}} + \frac{\boldsymbol{P_{uc}} - \boldsymbol{P_{ci}}}{\boldsymbol{T_{uc}} - \boldsymbol{T_{ci}}} * (\boldsymbol{T_f} - \boldsymbol{T_{uc}})$$

P_f = Población futura (hab).
P_{uc} = Población último censo (hab).
P_{ci} = Población censo inicial (hab).
T_{uc} = Año en el que se hizo el último censo.
T_{ci} =Año en el que se hizo el censo inicial.
T_f = Año para el cual se proyecta.

5.1.2 Método Geométrico

Este método es útil en poblaciones de gran actividad económica y donde hay gran área de expansión.

Ecuación Titulo B RAS 2000

$$\boldsymbol{P_f} = \boldsymbol{P_{uc}} * (\mathbf{1} + \boldsymbol{r})^{(\boldsymbol{T_f} - \boldsymbol{T_{uc}})}$$

Donde, r = tasa de crecimiento anual (decimales).

$$\boldsymbol{r} = \left(\frac{\boldsymbol{P_{uc}}}{\boldsymbol{P_{ci}}}\right)^{\frac{\mathbf{1}}{(\boldsymbol{T_{uc}} - \boldsymbol{T_{ci}})}} - \mathbf{1}$$

5.1.3 Método Exponencial

La utilización de este método requiere tener registro de por lo menos tres censos de población para determinar el promedio de la tasa de crecimiento.

Ecuación Titulo B RAS 2000

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f - T_{ci})}$$

$$k = \frac{Ln * P_{cp} - Ln * P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

P_{cp} = población del censo posterior.
P_{ca} = población del censo anterior.
T_{cp} = año del censo posterior.
T_{ca} = año del censo anterior.

5.2 AJUSTE POR LA POBLACIÓN FLOTENTE Y POR LA POBLACIÓN MIGRATORIA

Cuando se establezca el cálculo de la población se debe tener en cuenta las actividades laborales, industriales, comerciales y turísticas las cuales representan la población flotante. Debe ajustarse la población proyectada teniendo en cuenta la población flotante y la evaluación socioeconómica de la población.

Se debe tener presente la posibilidad de migración a la zona urbana de Barrancabermeja e incluirla en la proyección de la población.

Para el cálculo de esta población se deben utilizar los métodos establecidos por la Oficina de Planeación de Barrancabermeja o por el Departamento Nacional Planeación.

5.3 APORTE DE AGUAS RESIDUALES AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

El caudal de aguas residuales recibido por un sistema de alcantarillado está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Su proyección es basada en mediciones periódicas, evaluaciones regulares y en los registros históricos de consumos de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

A continuación se describen las ecuaciones y procedimiento a seguir para calcular el caudal de los diferentes tipos de aguas residuales:

- Domesticas: se debe calcular el caudal domestico $\mathbf{Q_D}$ para la condición inicial Q_DI y la condición final Q_{DF} de operación del sistema de alcantarillado. Ese cálculo se realiza por medio de la siguiente formula:

Ecuación D.3.1 Titulo D RAS 2000

$$\boldsymbol{Q_D = \frac{C * D * A_{rd} * R}{86400}}$$

C (consumo medio diario por habitante): es la cantidad de agua que los consumidores necesitan para satisfacer sus necesidades básicas. Como el nivel de complejidad de Barrancabermeja es Alto el consumo medio diario es de 150 L/hab/día a la cual, si el diseñador lo ve conveniente, se le puede hacer un aumento del 20% ya que el clima de la ciudad es mayor a 28ºc.

D (densidad de la población futura): se determina teniendo en cuenta la estratificación socioeconómica, el uso que se le puede dar al suelo y al ordenamiento urbano de la zona del proyecto.

P (población del área del proyecto): esta población puede ser calculada de dos formas: 1. multiplicación del área residencial bruta (A_{rb}) acumulada y la densidad de población futura (D).
2. multiplicación del número de viviendas futuras en la zona del proyecto y el promedio de habitantes por vivienda.

R (coeficiente de Retorno): se define como la fracción del agua de uso doméstico que se entrega al sistema de alcantarillado. El diseñador tiene la opción de elegir el coeficiente de retorno en un rango entre 0,8 y 0,85 ya que el nivel de complejidad de Barrancabermeja es Alto.

- Industriales: el caudal de aguas residuales entregadas al sistema de alcantarillado varía dependiendo del tamaño y tipo de industria, y del proceso de recirculación y de tratamiento. Por tal motivo los aportes de aguas residuales industriales **QI**, se establecen basándose en censos, encuestas, los consumos industriales actuales y futuros, teniendo en cuenta la ampliación de las industrias. El caudal de aguas residuales industriales **QI** debe ser determinado para cada industria en particular. El diseñador debe realizar un análisis específico de los aportes de aguas residuales en las zonas industriales y en zonas comerciales y residenciales en donde estén localizadas industrias de mediano y gran tamaño. Para cada industria en particular debe tenerse en cuenta la procedencia que tienen los residuos y la

velocidad mínima de los mismos, y si el sistema de alcantarillado es apto para recibir sus descargas. Para industrias pequeñas que se encuentren en zonas residenciales, puede utilizarse un valor de contribución industrial entre 1,0 y 1,5 L/s – ha según el criterio del diseñador.

- Comerciales: se debe realizar un estudio basado en el consumo diario por persona, la densidad de población del área y los coeficientes de retorno que sean mayores a los del consumo doméstico. En las zonas donde hay comercio y residencias se pueden calcular los caudales medios tomando como referencia la concentración comercial relativa a la residencial, utilizando una contribución comercial entre 0,4 y 0,5 L/s – ha según el criterio del diseñador.
  El caudal de aguas residuales comercial **Q_c** debe calcularse para la condición inicial Q_{cI} y final Q_{cF} de operación del sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta el plan de desarrollo comercial previsto para la zona del proyecto.

- Institucionales: el caudal de aguas residuales entregadas al sistema de alcantarillado varía dependiendo del tamaño y tipo de la institución (centros educativos, hospitales, cárceles, hoteles, etc). El caudal de aguas residuales institucionales **Q IN** debe ser determinado en cada caso particular teniendo en cuenta el consumo de instituciones de similares condiciones. Para instituciones pequeñas que se encuentren en zonas residenciales, puede utilizarse un valor de contribución institucional entre 0,4 y 0,5 L/s – ha según el criterio del diseñador.
  El caudal de aguas residuales institucional **Q_{IN}** debe calcularse para la condición inicial Q_{INI} y final Q_{INF} de operación del sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta el plan de desarrollo institucional previsto para la zona del proyecto.

- Conexiones erradas: se deben tener en cuenta los posibles aportes de las aguas lluvias provenientes del tejado y de los patios de las viviendas que son conectadas erradamente al sistema de alcantarillado sanitario. El caudal de aporte de las conexiones erradas **Q CE** a utilizar en el diseño si la zona del proyecto tiene sistema de alcantarillado pluvial es de 0,1 L/s – ha, pero si la zona no cuenta con dicho sistema el aporte a utilizar es 2 L/s – ha.

- Infiltración: se debe tener en cuenta que en los sistemas de alcantarillado se presenta la infiltración de aguas superficiales **Q INF**, por medio de daños en los diferentes tipos de tubería, deficiencia en las juntas, en el empalme colector – pozo de inspección y otras estructuras. El caudal de aporte, definido por el diseñador, puede ser de infiltración alta, media y baja, tomando como referencia la topografía del terreno, el tipo de suelo, el nivel freático y la precipitación en la

zona. En la siguiente tabla se muestra el rango de aportes según el tipo de infiltración.

Tabla D.3.7 RAS 2000 Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Infiltración Alta (L/S - ha)	Infiltración Media (L/S - ha)	Infiltración Baja (L/S - ha)
0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

Se utiliza el valor inferior del rango si las condiciones constructivas son apropiadas y menor amenaza sísmica.

5.4 CAUDAL MEDIO DIARIO DE AGUAS RESIDUALES

El caudal medio diario Q_{MD} es la suma de los aportes de aguas residuales al sistema de alcantarillado.

Ecuación D.3.2 Titulo D RAS 2000

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_c + Q_{IN}.$$

El caudal medio diario de aguas residuales Q_{MD} debe calcularse para la condición inicial Q_{MDI} y final Q_{MDF} de operación del sistema de alcantarillado.

5.5 CAUDAL MAXIMO HORARIO DE AGUAS RESIDUALES

EL caudal máximo horario de aguas residuales Q_{MH} es el mayor caudal del año registrado durante una hora. El Q_{MH} se toma como fuente para calcular el caudal de diseño del sistema de alcantarillado y se calcula multiplicando el caudal medio diario final por un factor de mayoración.

Ecuación D.3.3 Titulo D RAS 2000

$$Q_{MH} = F * Q_{MDF}$$

Factor de mayoración: este valor tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua potable y el aumento de la población, tomando como referencia el caudal medio diario $Q_{MD.}$ El valor del factor disminuye cuando aumenta el número de habitantes.

Como el número de habitantes de Barrancabermeja está dentro del rango de 1000 a 1000000, el factor de mayoración se calcula utilizando la ecuación de Harmon:

Ecuación de Harmon D.3.4 Titulo D RAS 2000

$$F = 1 + \frac{14}{4 + P^{0,5}}$$

Si llegado el caso caudal de aguas residuales comercial, industrial e institucional no representa más del 25% del caudal total puede calcularse el factor de mayoración utilizando las siguientes ecuaciones:

La fórmula de los Ángeles puede usarse para un caudal de aguas residuales entre un rango de 2,8 a 28300 L/s.

Ecuación de los Ángeles D.3.7 Titulo D RAS 2000

$$F = \frac{3,53}{QMD^{0,0914}}$$

La fórmula de Tchobanoglous puede usarse para un rango de 4,0 a 5000 L/S, siempre y cuando las aguas residuales de procedencia comercial, industrial e institucional no superen el 25% del caudal total.

Ecuación de Tchobanoglous D.3.8 Titulo D RAS 2000

$$F = \frac{3,7}{QMD^{0,0733}}$$

El factor debe calcularse para cada tramo teniendo en cuenta el aumento progresivo de la población y el caudal. Como mínimo el factor de mayoración debe ser un valor igual a 1,4.

5.6 CAUDAL DE DISEÑO DE AGUAS RESIDUALES

El caudal de diseño son los aportes acumulados que llegan al tramo y van hasta el pozo de inspección; para cada tramo del sistema de alcantarillado se debe hacer la suma del caudal máximo horario, las conexiones erradas y las infiltraciones.

Ecuación D.3.9 Titulo D RAS 2000

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{CEf} + Q_{INF}$$

El caudal de diseño mínimo debe ser mayor e igual a 1,5 L/S, en caso tal que el caudal de diseño calculado sea inferior debe usarse este valor.

5.7 DIAMETRO MINIMO DE TUBERÍA

El diámetro mínimo permitido por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. en los sistemas de alcantarillado sanitario es 8 pulgadas (200 mm) para que no se presenten taponamientos por la presencia de objetos relativamente grandes

5.8 VELOCIDAD MINIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Se establecerse una velocidad mínima para evitar que en periodos de caudal bajos los sólidos se estanquen en las tuberías y provoquen taponamientos y malos olores. La velocidad mínima aprobada por Aguas de Barrancabermeja es de 0,45 m/s u otra mayor si el diseñador lo considera necesario.

El diseñador debe tener en cuenta, para dar inicio a la operación de cada tramo de sistema de alcantarillado, el comportamiento autolimpiante del flujo. Este proceso se hace utilizando el criterio de esfuerzo cortante medio, el cual debe ser mayor o igual a 1,5 N/m^2 (0,15 Kg/m^2) para el caudal máximo horario inicial, el cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación D.3.10 Titulo D RAS 2000

$$Q_{MHI} = \frac{F * Q_{Di}}{K_1} + Q_{Ii} + Q_{Ci} + Q_{INi} + Q_{INF} + Q_{CEi}$$

El caudal máximo horario inicial debe ser mayor e igual a 1,5 L/S, en caso tal que el caudal de diseño calculado sea inferior debe usarse este valor.

K1: es la relación entre el caudal máximo diario y el caudal medio diario, y su valor de estar entre 1,2 y 1,5.

El cálculo del esfuerzo cortante medio se hace mediante la siguiente ecuación:

Ecuación D.3.11 Titulo D RAS 2000

$$t = \gamma * R * S$$

t = Esfuerzo cortante en la pared (N/m^2).
γ = Peso específico del agua residual (N/m^3).
R = Radio hidráulico (m).
S = Pendiente (m/m).

Si se presenta una situación en la cual la velocidad mínima no alcance la establecida por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. debida a la topografía del terreno, se debe cumplir que el esfuerzo sea mayor o igual a 1,2 N/m^2 (0,12 Kg/m^2).

Si el sistema de alcantarillado va a ser construido en una zona en que los colectores transportan aguas residuales industriales deben cumplir con la legislación y normatividad vigente sobre vertimientos de ese tipo. En estos colectores dependiendo de la demanda bioquímica de oxígeno, se debe asignar un valor a la velocidad mínima real según la siguiente tabla:

Tabla D.3.10 RAS 2000 Velocidad mínima de aguas residuales industriales

DBO efectiva (mg/l)	Velocidad mínima real (m/s)
Hasta 225	0,50
De 226 a 350	0,65
De 351 a 500	0,75
De 501 a 690	0,90
De 691 a 900	1,00

DBO efectiva: para la demanda bioquímica de oxígeno, los valores de esta se obtienen aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación D.3.13 Titulo D RAS 2000

$$DBO_e = 1{,}25 * DBO_5 * 1{,}07^{(T-20)}$$

DBO_5: demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días en que el agua residual se encuentre a 20ºc.

T: temperatura.

Se deben verificar las condiciones de autolimpieza sean óptimas para un esfuerzo cortante entre 1,5 y 2,0 N/m^2 (0,15 y 0,20 Kg/m^2).

5.9 VELOCIDAD MAXIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO

La velocidad máxima permitida por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. es de 5 m/s, si el diseñador considera necesario utilizar un valor mayor debe presentar una justificación técnica.

La velocidad media varía dependiendo del tipo de tubería del sistema de alcantarillado, en función de su sensibilidad a la abrasión. El diseñador debe justificar las velocidades teniendo en cuenta los materiales, características abrasivas de las aguas residuales y la turbulencia del flujo.

5.10 PENDIENTE MINIMA DE LA TUBERIA

La pendiente mínima de la tubería debe ser aquel que permita cumplir con la velocidad mínima del flujo y las condiciones de autolimpieza y el control de gases (2%).

5.11 PENDIENTE MAXIMA DE LA TUBERIA

La pendiente máxima de la tubería debe ser aquella que no genere un sobrepaso en la velocidad máxima real establecida del flujo.

Si la pendiente máxima es mayor a 10%, debe tenerse en cuenta que bajo la condición de flujo uniforme la presión hidrostática de presiones no es válida, por lo cual, en las ecuaciones para el flujo gradualmente variado y de flujo no permanente se debe utilizar un factor $\cos^2\theta$.

θ = ángulo de la tubería con respecto a la línea horizontal.

5.12 PROFUNDIDAD HIDRAULICA MAXIMA

El valor máximo permisible de la profundidad hidráulica que se necesita para facilitar una aireación adecuada de aguas residuales debe estar entre 70 y 85% del diámetro real interno de las tuberías.

5.13 PROFUNDIDAD MINIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA

Las tuberías de los sistemas alcantarillado sanitarios deben instalarse a la profundidad adecuada que permita el drenaje de las aguas domiciliarias sin sótano, las cuales deben tener una pendiente mínima del 2%. Además, con el fin de garantizar una mayor resistencia de la tubería a las cargas vivas, debe haber un recubrimiento mínimo de material de 0,75 m para pasos peatonales y de 1,2 m para vías vehiculares.

En zonas donde se presente problemas con el drenaje que pueden disminuir la profundidad de la tubería deben realizarse las previsiones geotécnicas de las cimentaciones y estructurales. Además, debe tenerse en cuenta que las tuberías del sistema de alcantarillado siempre deben estar por debajo del nivel de las tuberías de agua potable.

El diseño y la ejecución de los trabajos del relleno y compactación de las zanjas y terraplenes debe cumplir con las condiciones del Título G “Aspectos

Complementarios" del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000

5.14 PROFUNDIDAD MAXIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA

La profundidad máxima permitida a la cota clave de una tubería es de 5 m, pero si el diseñador ve necesario dentro del diseño usar una profundidad más alta en un trayecto debe cumplir con los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales y tubería, para lo cual debe considerar los capítulos G.2 "Aspectos Geotécnicos" y G.3 "Aspectos estructurales" del Título G "Aspectos Complementarios" del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000.

6. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

A continuación se presentan los parámetros que se deben tener en cuenta para el desarrollo de un sistema de alcantarillado pluvial.

6.1 ÀREAS DE DRENAJE

El diseño del sistema de alcantarillado pluvial generalmente debe seguir las calles del área del proyecto. Cada tramo del sistema debe tener definida la extensión y el tipo de área tributaria. Dentro del área aferente del tramo en consideración debe incluirse el área tributaria; las áreas de drenaje deben ser consideradas tomando como soporte los planos para lograr consistencia con las redes de drenaje natural.

6.2 CAUDAL DE DISEÑO

Para áreas de drenaje pequeñas el caudal de diseño se calcula utilizando el método racional; con este método se calcula el caudal pico teniendo como base la intensidad media de la precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y el coeficiente de escorrentía.

Ecuación D.4.1 Titulo D RAS 2000

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

Q: caudal de aguas lluvias.
C: coeficiente de escorrentía en función de la permeabilidad del área de drenaje.
i: intensidad de la lluvia (mm/h).
A: área tributaria (ha).

Utilizando el método racional, el caudal pico se da cuando toda el área drenaje contribuye, y se toma como una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- El caudal pico está en función directa de la intensidad **i** de la lluvia, durante el tiempo de concentración del punto de referencia.
- La frecuencia del caudal pico se toma como la misma frecuencia media de precipitación.
- La lluvia se distribuye uniformemente sobre el área de drenaje y se asume que la relación lluvia – escorrentía es lineal.
- Para lluvias de cualquier duración o frecuencia sobre el área de drenaje el coeficiente de escorrentía es un valor constante.

El método racional es utilizado para áreas de drenaje hasta de 700 ha.

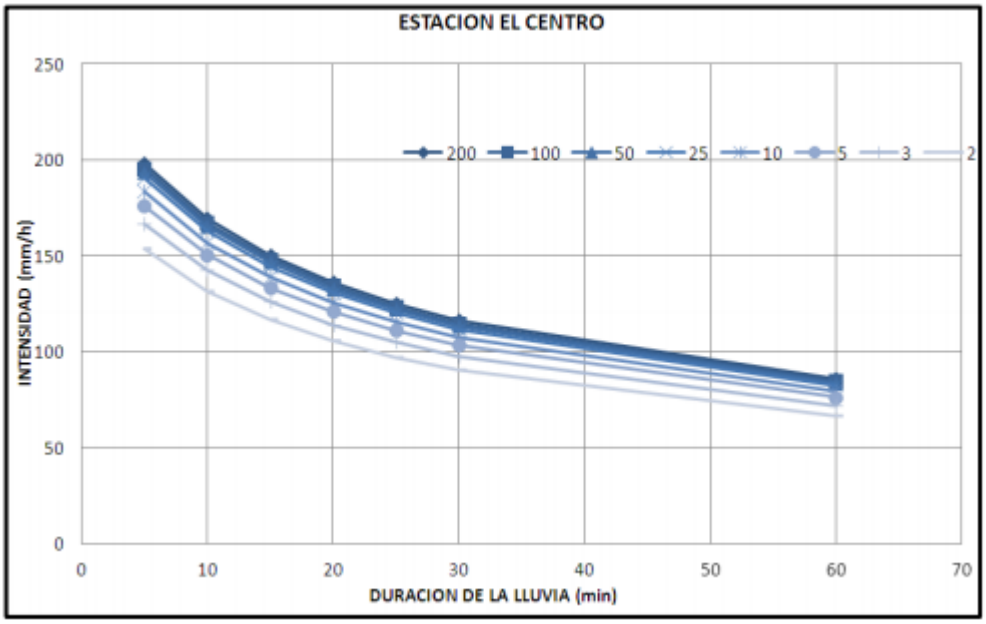
6.3 CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA.

Las curvas de intensidad – duración - frecuencia (IDF) son la base climatológica para el cálculo de los caudales de diseño. Las curvas IDF caracterizan los eventos extremos de precipitación de la zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de precipitación con periodos de retorno específicos. Si en la actualidad existen curvas IDF de la zona, estas deben analizarse para calificar su confiabilidad con respecto al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias.

Si no existe información pluviográfica de la zona del proyecto se debe adquirir información de la zona más cercana. Si esta información no aporta curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse mediante métodos sintéticos. Por Barrancabermeja estar dentro del nivel de complejidad alto, solamente se permite obtener las curvas IDF con información pluviográfica local.

La siguiente es la curva Intensidad – Duración – Frecuencia para Barrancabermeja, obtenida con registros pluviográficos de la Estación El Centro, y con información de precipitación máxima de 24 horas. Estos procedimientos y la curva pluviográfica fueron desarrollados por la Universidad Industrial de Santander UIS, para el informe hidráulico e hidrológico de, ESTUDIOS Y DISEÑOS NECESARIOS PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA, TRAMO N° 6. FASE 1.

La Intensidad es expresa en mm/hora y la Duración de la lluvia en minutos.



https://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2011/DA/268081011/11-1-72020/DA_PROCESO_11-1-72020_268081011_3192547.pdf

6.4 PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO

Dependiendo de la importancia del área para la cual se realiza el diseño y teniendo en cuenta el efecto que puede causar inundación (daños y perjuicios) a las viviendas y sus habitantes, al tráfico vehicular, a la zona comercial e industrial, debe establecerse el periodo de retorno.

El periodo de retorno se establece teniendo en cuenta las características de protección e importancia del área del proyecto. Por Barrancabermeja tener un nivel de complejidad Alto, se debe hacer el diseño teniendo en cuenta los periodos de retorno establecidos en la siguiente tabla.

Adaptación Tabla D.4.2 RAS 2000 Periodos de retorno o grado de protección

CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE DRENAJE	PERIDO DE RETORNO (AÑOS)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 ha	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha (Parte revestida a 10 años, más borde libre a 100 años)	25
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	50

6.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es la suma del tiempo de entrada, que es el tiempo en el cual la escorrentía llega al sumidero, y el tiempo de recorrido, es el tiempo de viaje del agua dentro de la tubería. (Estos tiempos son entregados en minutos).

Ecuación D.4.3 Titulo D RAS 2000

$$\boldsymbol{T_c = T_e + T_f}$$

6.5.1 Tiempo de entrada

El tiempo de entrada puede ser calculado por medio de las siguientes ecuaciones:

- Ecuación de la FAA de los Estados Unidos, es utilizada para calcular la escorrentía en superficies urbanas:

Ecuación D.4.4 Titulo D RAS 2000

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) - L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

C: coeficiente de escorrentía en función de la permeabilidad del área de drenaje (numeral 6.7)
L: longitud máxima del flujo de escorrentía (m).
S: pendiente promedio entre el punto más alejado y la tubería (m/m).

- Ecuación de Kerby:

Ecuación D.4.5 Titulo D RAS 2000

$$T_e = 1,44 * \left(\frac{L * m}{S^{1/2}}\right)^{0,467}$$

m: coeficiente de retardo
El coeficiente de retardo depende del tipo de superficie, tomando como base los valores de la siguiente tabla:

Tabla D.4.6 RAS 2000 Coeficiente de retardo

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

- Ecuación de Soil Conservation Service (SCS), se calcula con base en la velocidad media de escorrentía V_s sobre el área de drenaje y la longitud del recorrido:

Ecuación D.4.6 Titulo D RAS 2000

$$Te = \frac{L}{60 * V_s}$$

Ecuación D.4.7 Titulo D RAS 2000

$$V_s = a * S^{\frac{1}{2}}$$

De la siguiente tabla, con base en el tipo de superficie se toma la constante ***a***.

Tabla D.4.7 RAS 2000 Constante a de velocidad superficial

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

6.5.2 Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido puede ser calculado por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación D.4.8 Titulo D RAS 2000

$$T_t = \frac{L_c}{60 * V}$$

T_t = tiempo de recorrido.
L_c = longitud de la tubería.
V= velocidad media del flujo en las tuberías, su cálculo puede hacerse utilizando la ecuación de Manning.

6.6 INTENSIDAD DE LLUVIA

Para el cálculo del caudal pico de aguas lluvias debe utilizarse la intensidad media de lluvia tomada de las curvas IDF para el periodo de retorno de diseño, y la duración equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía.
Las curvas IDF muestran valores puntuales de intensidad para áreas relativamente pequeñas. Si las áreas de drenaje consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia se reduce. Por tal motivo deben tenerse en cuenta factores de reducción de la intensidad media de las lluvias si el área de drenaje se incrementa. A continuación se muestran los valores del factor de reducción que se usan para convertir la intensidad puntual en intensidad media espacial.

Tabla D.4.4 RAS 2000 Factor de reducción

AREAS DE DRENAJE (ha)	FACTOR DE REDUCCIÓN
50 - 100	0,99
100 - 200	0,95
200 - 400	0,93
400 - 800	0,9
800 - 1600	0,88

6.7 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

El coeficiente de escorrentía **C** varía según el tipo de suelo, pendiente y permeabilidad de la zona y otros factores que determinan que parte de la lluvia fluye como escorrentía. Se deben tener en cuenta las perdidas por infiltración y cualquier situación que obstruya el paso del flujo de escorrentía. Hay que solicitar a la entidad encargada el concepto de uso del suelo y los planes de ordenamiento territorial de la zona del proyecto, esto con el fin de estimar el coeficiente de escorrentía para la situación inicial y la situación futura al final del periodo de diseño.

Si en el área del proyecto hay sub-áreas con diferentes coeficientes de escorrentía, deben promediarse esos valores.

Ecuación D.4.2 Titulo D RAS 2000

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

A continuación se muestran los valores que se deben utilizar como coeficiente de escorrentía.

Tabla 6.4 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM Coeficiente de Escorrentía

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta	0,9
Pavimentos asfalticos y superficies de concretos	0,9
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,9
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,6

Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,3
Laderas sin vegetación	0,6
Laderas con vegetación	0,3
Parques recreacionales	0,35

6.8 DIÁMETRO MÍNIMO

El diámetro nominal mínimo de una tubería circular permitido para un diseño de sistema de alcantarillado pluvial para Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P es de 300 mm (12”).

6.9 APORTE DE SEDIMENTOS

Durante la captación de aguas lluvias del sistema de alcantarillado siempre se recolecta material granular y coloidal llevados por escorrentía superficial, así como en muchas ocasiones son captados lodos de conexiones erradas. Se debe tener en cuenta la topografía del terreno, el tipo de suelo, cobertura vegetal y la erosión, para identificar el tipo de material granular que de las áreas de drenaje llegan a los sumideros. El aporte de estos sedimentos debe ser tenido en cuenta en el comportamiento autolimpiante de las tuberías y en la velocidad mínima del flujo.

6.10 VELOCIDAD MINIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Para evitar que los sólidos atraídos por las aguas lluvias permanezcan en el interior de las tuberías en los periodos de caudal bajo, se debe establecer una velocidad mínima para el caudal de diseño, la cual para Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. es de 0,75 m/s.
El diseñador debe tener en cuenta, para dar inicio a la operación de cada tramo de sistema de alcantarillado, el comportamiento autolimpiante del flujo. Este proceso se hace utilizando el criterio de esfuerzo cortante medio, el cual debe ser mayor o igual a 3,0 N/m^2 (0,3 Kg/m^2) para el caudal de diseño, y mayor o igual a 1,5 N/m^2 (0,15 Kg/m^2) para el 10% de la capacidad a tubo lleno.

6.11 VELOCIDAD MAXIMA POR LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Los valores máximos aceptados para la velocidad media varían dependiendo del tipo de tubería del sistema de alcantarillado, en función de su sensibilidad a la abrasión. El diseñador debe justificar las velocidades teniendo en cuenta los materiales, características abrasivas de las aguas lluvias y la turbulencia del flujo.

La velocidad máxima permitida para un sistema de alcantarillado pluvial con tubería de concreto es de 5 m/s y para una tubería de PVC es de 10 m/s.

6.12 PENDIENTE MINIMA DE LA TUBERIA

La pendiente mínima de la tubería debe ser aquella que permita cumplir con la velocidad mínima del flujo y las condiciones de autolimpieza.

6.13 PENDIENTE MAXIMA DE LA TUBERIA

La pendiente máxima de la tubería debe ser aquella que no genere un sobrepaso en la velocidad máxima real establecida del flujo. Si la pendiente máxima es mayor a 10%, debe tenerse en cuenta que bajo la condición de flujo uniforme la presión hidrostática de presiones no es válida, por lo cual, para las ecuaciones para el flujo gradualmente variado y de flujo no permanente se debe utilizar un factor $\cos^2\theta$.

θ = ángulo de la tubería con respecto a la línea horizontal.

6.14 PROFUNDIDAD HIDRAULICA MAXIMA

En los tramos de tubería de aguas lluvias la profundidad hidráulica máxima puede ser la que corresponda a tubo lleno, ya que el sistema de alcantarillado pluvial no requiere aireación.

6.15 PROFUNDIDAD MINIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA

Las tuberías de los sistemas alcantarillado sanitarios deben instalarse a la profundidad adecuada que permita el drenaje de las aguas domiciliarias sin sótano, las cuales deben tener una pendiente mínima del 2%. Con el fin de garantizar una mayor resistencia de la tubería a las cargas vivas, debe haber un recubrimiento mínimo de material de 0,75 m para pasos peatonales y de 1,2 m para vías vehiculares.

En zonas donde se presente problemas con el drenaje que pueden disminuir la profundidad de la tubería, pero deben realizarse las previsiones geotécnicas de las cimentaciones y estructurales. Además, debe tenerse en cuenta que las tuberías del sistema de alcantarillado siempre deben estar por debajo del nivel de las tuberías de agua potable.

El diseño y la ejecución de los trabajos del relleno y compactación de las zanjas y terraplenes debe cumplir con las condiciones del Título G “Aspectos

Complementarios" del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000.

6.16 PROFUNDIDAD MAXIMA A LA COTA CLAVE DE LA TUBERIA

La profundidad máxima permitida a la cota clave de una tubería es de 5 m, pero si el diseñador ve necesario dentro del diseño usar una profundidad más alta en un trayecto debe cumplir con los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales y tubería, para lo cual debe considerar los capítulos G.2 "Aspectos Geotécnicos" y G.3 "Aspectos estructurales" del Título G "Aspectos Complementarios" del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000.

7. DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO COMBINADO

7.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El sistema de alcantarillado combinado debe ser usado en las zonas donde se presente una o varias situaciones que impidan el uso de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial o cuando resulte ser la mejor alternativa según los costos de vertimientos.

En las zonas donde el suelo permite un buen drenaje se puede optar por este tipo de sistema. Si se opta por la construcción de este sistema, debe sustentarse con una justificación técnica, económica, financiera y ambiental, en la cual sean incluidos los costos del permiso de vertimiento o del tratamiento que se les debe dar; estos aspectos deben ser tenidos en cuenta para considerar si es conveniente el sistema de alcantarillado combinado que la construcción de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial por separado.

En el análisis financiero debe ser tenido en cuenta el costo de tratamiento de las aguas residuales diluidas, la cual debe cumplir con la legislación vigente sobre vertimiento a los cuerpos de agua receptores.

Un aspecto muy importante tener en cuenta es el caudal en épocas de verano, en las cuales solo hay aportes de aguas residuales y puede que no sea alcanzada la velocidad de flujo mínima para garantizar la autolimpieza de la tubería, lo cual genera malos olores y gases.

7.2 CAUDAL DE DISEÑO

En general para el diseño de los sistemas de alcantarillado combinado se toma como caudal de diseño, el generado por las aguas lluvias, ya que las aguas

residuales aportan un caudal mínimo. Pero si en algún proyecto se presenta el caso de que el caudal de aguas residuales sea mayor al 5% del caudal de aguas lluvias, el nuevo caudal de diseño es la suma de los dos (2) caudales. El caudal de aguas residuales seria la suma de los caudales domésticos, industriales, comerciales, institucional y de infiltración, pero no se tomaría en cuenta el caudal de las conexiones erradas. Se debe tener en cuenta el comportamiento hidráulico del sistema cuando se presente el caudal mínimo inicial para garantizar la autolimpieza del sistema de alcantarillado combinado.

7.3 PARAMETROS DE DISEÑO

El diseño de los sistemas de alcantarillado combinado está regido por el mismo procedimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial cuando funcionan por separado, los cuales son descriptos en los capítulos 4 y 5 de la presente norma. En la gran mayoría de sistemas de alcantarillado combinado se diseña con los caudales de los sistemas pluviales y se utiliza un diámetro mínimo de 300 mm (12”).

Para el diseño de los aliviaderos en los sistemas de alcantarillado combinado, se debe seguir lo especificado en el numeral 9.6 de la presente norma en el que se registra el procedimiento a seguir y los cálculos a realizar.

Es de gran importancia tener en cuenta la variación que tiene la calidad del agua en relación con un hidrograma de la escorrentía de aguas lluvias. Las primeras etapas del limbo ascendente del hidrograma están asociadas con el lavado de la escorrentía superficial de las áreas de drenaje, en donde se concentran en gran cantidad los contaminantes urbanos. Estos hidrogramas deben ser tenidos en cuenta al realizar el diseño de los aliviaderos.

8. OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y/O PLUVIAL

8.1 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Se deben realizar los ensayos de infiltración, exfiltración y hermeticidad con aire a los tramos de tubería y a los pozos de inspección, para establecer una impermeabilidad óptima.

8.1.1 Ensayo de infiltración

El ensayo de infiltración se realiza cuando el nivel freático este 1m o más por encima de la cota clave de la tubería. Debe aislarse el tramo de tubería aguas arriba para medir el caudal infiltrado aguas abajo mediante un vertedero. El rango de valores de infiltración permitido como resultado a este ensayo esta entre 10 y 20 litros por milímetro de diámetro, por kilómetro de longitud de tubería y por día.

Este ensayo también puede utilizarse para medir la estanqueidad de los pozos de inspección y otras estructuras de conexión. Deben escogerse pozos que puedan ser correctamente aislados de las tuberías afluentes y efluentes, y tomar registro del aumento que tuvo el nivel del agua. La infiltración debe ser máximo de 5 litros por hora por metro de diámetro del pozo y por metro de cabeza de agua.

8.1.2 Ensayo de exfiltración

Cuando se presencie un nivel freático bajo, se puede medir la impermeabilidad asilando el tramo y llenándolo de agua hasta un nivel definido y tomando con el registro se establece una tasa de descenso durante un periodo de tiempo definido. Este ensayo también puede ser utilizado para medir la impermeabilidad de los pozos de inspección.

8.1.3 Ensayo de hermeticidad con aire

El ensayo de hermeticidad con aire a baja presión o presión negativa se usa como alternativa a los ensayos de infiltración y exfiltración. Para la realización de este ensayo se debe tener en cuenta la norma NTC 4223 para los pozos de inspección, o las normas internacionales que se presentan en la siguiente tabla tomando como referencia el tipo de tubería.

Tabla 5-3. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Normas técnicas de ensayos de hermeticidad con aire

TIPO DE TUBERIA	NORMA INTERNACIONAL
CONCRETO	ASTM C 924 - 89
	ASTM C 924 M-89
	ASTM C 1214 - 94
	ASTM C 1214 M- 94
GRES	ASTM C 828
PLASTICO	ASTM F 1417 - 92

8.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Para cada sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial debe llevarse una programación de mantenimiento preventivo y correctivo con el objetivo de que no se presente deficiencia en el funcionamiento.

8.2.1 Mantenimiento Preventivo

Se debe hacer una inspección interior y exteriormente para localizar los puntos críticos y tomarlos como referencia al momento de realizar los mantenimientos preventivos, para de este modo evitar que se presenten daños de gran magnitud que puedan impedir el buen funcionamiento del sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial.

Este mantenimiento preventivo debe realizarse con una frecuencia de 2 años, o menos en caso de que se requiera, y el personal responsable de realizar los mantenimientos debe tener a su disposición los siguientes equipos:

- Equipo succión – presión.
- Sonda manual (rotasondas).

8.2.2 Mantenimiento Correctivo

Llegado el caso de presentarse algún daño en la operación del sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial se debe programar de forma inmediata la revisión del personal con los equipos de mantenimiento disponibles y así alcanzar un óptimo funcionamiento.

8.3 MEDICIÓN DE CAUDAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Es de gran importancia hacer un seguimiento al caudal y a la calidad de las aguas residuales y pluviales del sistema de alcantarillado, y así poder corregir los problemas que se presenten, para tener un buen control de vertimientos.

Para hacer los estudios de la calidad del agua se deben regir por la normatividad vigente sobre los vertimientos y las descargas de las aguas residuales. Para tener un mejor control es necesario hacer mediciones en puntos estratégicos de control del sistema de alcantarillado (subáreas de drenaje).

8.4 CONTROL DE GASES

Los malos olores y gases deben ser tenidos en cuenta durante la realización del diseño, ya que estos pueden evitarse con la ventilación del sistema. Debido al clima cálido de Barrancabermeja la velocidad del flujo en el interior de la tubería es muy baja y con tiempos de conducción largos, además el contacto con el aire es muy limitado.

Un diseño debe tener en cuenta las pendientes y los diámetros para disminuir la producción de gases, y se deben establecer puntos donde se genere turbulencia para que la aireación del flujo disminuya la concentración de malos olores.

8.5 CONTROL DE LOS VERTIMIENTOS INDUSTRIALES

Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. es la entidad encargada de dar a las empresas industriales los permisos de conexión al sistema de alcantarillado sanitario, y de realizar el seguimiento a los vertimientos para que se cumpla la normatividad vigente.

9. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS

9.1 ALCANCE

En este capítulo se da la definición y las características de cada tipo de estructura complementaria de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. Se presentan los parámetros de diseño de las estructuras complementarias y los métodos de cálculo. Se tienen en cuenta las consideraciones para la proyección, los parámetros de diseño, los métodos de cálculo y si son necesarios los estudios previos.

9.2 CONSIDERACIÓN GENERALES

Las estructuras complementarias son de gran importancia para asegurar una buena operación del sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial, y facilitar las labores de inspección y mantenimiento que se les debe realizar periódicamente.

9.3 ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN DE TUBERIAS Y POZOS DE INSPECCIÓN

Una de las funciones de estas estructuras es unir o conectar dos o más tramos de tubería y la otra es facilitar el mantenimiento del sistema de alcantarillado. El

acceso a estas estructuras para la revisión y el mantenimiento se hace por los pozos de inspección.

La forma de la estructura de conexión y del pozo de inspección es cilíndrica en su parte inferior, y dependiendo de su profundidad en la parte superior se hace un cono truncado en ladrillo tolete común. Sus dimensiones y la de los elementos en su interior varían dependiendo del tipo de pozo y están dadas en las especificaciones técnicas de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P., buscando que el personal de operación y mantenimiento ingrese tranquilamente.

Deben construirse estructuras de conexión de colectores en los puntos mencionados a continuación:

- Arranques de las tuberías.
- Cambios de dirección de las tuberías.
- Cambios de diámetro de las tuberías.
- Cambios de pendiente de las tuberías.
- Intersección de las tuberías.
- Entre los tramos rectos de la tubería de alta longitud.
- Curvas de las tuberías.

9.3.1 Parámetros de diseño

Para realizar el diseño de las estructuras de conexión de tuberías y pozos de inspección deben ser tenidas en cuenta los siguientes parámetros:

9.3.1.1 Diámetro de la estructura

El diámetro de los pozos se escoge tomando como referencia los diámetros de las tuberías afluentes. Para Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. el diseñador puede elegir entre diámetros de 1.2m, 1.5m, 1.8m y 2.0m.

9.3.1.2 Profundidad de la estructura

La profundidad mínima de las estructuras de conexión de tuberías y de pozos de inspección es de 1,0m sobre la cota clave de la tubería afluente más superficial.

9.3.1.3 Diámetro de entrada a la estructura

El diámetro de la entrada a la estructura es de 0,6m, pero si la altura del pozo es menor de 2,0m no se construye el cono, y el cuerpo del cilindro puede ser llevado

hasta la superficie. Se debe construir una losa de concreto para dar acceso a la estructura.

9.3.1.4 Distancia entre pozos

La distancia entre una estructura de conexión a otra está dada por el urbanismo, y son construidas para dar cambio de dirección, cambio de diámetro, cambio de pendiente o si se necesita conectar dos o más tuberías y los equipos disponibles para el mantenimiento de las tuberías. La mayor distancia permitida de pozo a pozo son 120m.

9.3.2 Métodos de cálculo

Existen varios métodos con los cuales se pueden calcular el diseño hidráulico, para los cuales se debe tener en cuenta el régimen de flujo de las tuberías afluentes y de la tubería de salida o principal. El diseño hidráulico está basado principalmente en la determinación de las pérdidas de cabeza hidráulica (de energía) producidas por la unión con el pozo.

Si se presenta un caso en el que sea conveniente reducir las pérdidas de energía, en la cañuela del pozo se puede proyectar la transición entre la tubería principal afluente y la tubería de salida, para que de este modo las pérdidas de energía disminuyan, teniendo en cuenta consideraciones de flujo y los radios de curvatura.

Los siguientes son los criterios a tener en cuenta para realizar el diseño hidráulico:

9.3.2.1 Pérdidas de energía

9.3.2.1.1 Régimen Subcrítico

Si las tuberías que llegan a la estructura de conexión o al pozo de inspección operan bajo el régimen subcrítico se usara el criterio de empate de la línea de energía. Para calcular las pérdidas de energía ocasionadas por la unión de las tuberías y el cambio de dirección del flujo se usa la siguiente ecuación:

Ecuación D.2.3 Titulo D RAS 2000

$$\Delta He = \Delta E + K_k \left| Hv_2 - Hv_1 \right| + \Delta H_C$$

Ecuación D.2.4 Titulo D RAS 2000

$$\Delta E = (y_2 + Hv_2) - (y_1 + Hv_1)$$

Ecuación D.2.5 Titulo D RAS 2000

$\Delta Hc = Kc * Hv$

ΔHe: pérdidas de energía ocurridas por la unión de colectores (m).
ΔE: diferencia de energía específica entre la tubería de salida y la tubería principal de entrada a la estructura (m).
Kk: 0,1 para velocidad creciente y 0,2 para velocidad decreciente.
$Hv_{2:}$ cabeza de velocidad en la tubería principal de salida (m).
$Hv_{1:}$ cabeza de velocidad en la tubería principal de entrada (m).
$\Delta H_{C:}$ pérdida de energía por cambio de dirección de la tubería principal (m).
Kc: coeficiente de pérdida de energía por flujo curvilíneo dentro de la estructura.
Hv: cabeza de velocidad calculada para la velocidad promedio (m).
Siempre debe tenerse en cuenta que las cotas de energía de las tuberías afluentes tienen que ser mayores o iguales que las cotas de energía de la tubería de salida, para evitar que se formen resaltos hidráulicos.

Cuando ΔHe es positivo, representa la caída de la cota batea entre la tubería principal de entrada y la tubería de salida, y cuando ΔHe es negativo o cero, no se debe proveer de caída la cota batea de la tubería de salida.

9.3.2.1.1 Régimen Supercrítico

El régimen supercrítico se evalúa la unión de las tuberías considerando las siguientes opciones:

- Unión de tuberías sin caída en la estructura: se puede optar por este tipo de unión cuando la cota del nivel del agua por las tuberías afluentes es aproximadamente la misma, y la cota de energía de la tubería de salida es menor que la de entrada, para evitar que se formen resaltos hidráulicos. Cuando se presentan estos casos, las pérdidas de energía corresponden principalmente al flujo curvilíneo dentro de la estructura entre las tuberías principales, las cuales pueden calcularse basándose en la tabla "**Valores del coeficiente kc"** y representan la caída en la cota batea de las tuberías principales. En el diseño de estas estructuras debe tenerse en cuenta que los máximos ángulos de deflexión tiene una relación inversa con el diámetro de la tubería de salida.

Tabla D.2.3 RAS 2000 Valores del coeficiente Kc

Régimen de Flujo	Radio Curvatura/Diámetro	Kc
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

- Unión de tuberías con cámara de caída: se debe hacer un análisis hidráulico correspondiente al de un conducto cerrado que tenga control en la entrada, porque la capacidad de la tubería es mayor que la capacidad de la entrada al colector. Primero deben estimarse las pérdidas de energía correspondientes, la profundidad del agua que se espera que llegue al pozo, e identificar si la tubería se sumerge (tomando como base el caudal y el diámetro del colector de salida). Con el diseño se espera lograr que la profundidad no sobrepase las elevaciones de los flujos afluentes, los cuales se calculan suponiendo que en la entrada a la estructura las profundidades son normales.

Tabla D.A.1 RAS 2000 Máximo ángulo de intersección

Diámetro del colector de salida, Ds (mm)	**Ángulo**
Ds ≤ 250	90 º
250 ≤ Ds ≤ 350	75 º
350 ≤ Ds ≤ 530	60 º
530 ≤ Ds ≤ 900	45 º
Ds > 900	15 º

9.4 CAMARA DE CAIDA

La función de la cámara de caída es evitar que se presenten velocidades mayores a la velocidad máxima permisible, por tal motivo estas estructuras de conexión son utilizadas en terrenos de alta pendiente.

9.4.1 Consideraciones para su proyección

Si existe una diferencia mayor a 0,70 m entre la cota batea de la tubería de llegada y la de la tubería de salida que están unidas a la estructura de conexión, deben entregar las aguas al pozo a través de una cámara de caída. Para tuberías afluentes de diámetro menor de 300 mm (12") se puede considerar la no construcción de la cámara de caída, siempre y cuando se provea de un colchón de agua en la parte inferior del pozo para que amortigüe la caída.

9.4.2 Parámetros de diseño

Utilizando una silla tee son conectados en la parte superior de la cámara, la tubería de llegada y el tubo bajante que llega hasta el fondo de la cámara. El diámetro del tubo bajante debe ser el mismo que el del tubo de llegada y es conectado a la cámara por medio de un semicodo.

Si dentro del diseño está proyectado el uso de cámaras de caída externas, la tubería bajante debe ser del mismo diámetro del tubo de entrada y nunca menor que 300 mm (12"). Como se muestra en la Figura 8-7, debe construirse un bajante al tubo de entrada con el objetivo de que el agua entre por éste. La pendiente de la tubería que conecta el bajante de la cámara con el pozo de conexión y/o inspección debe ser la misma de la tubería de entrada.

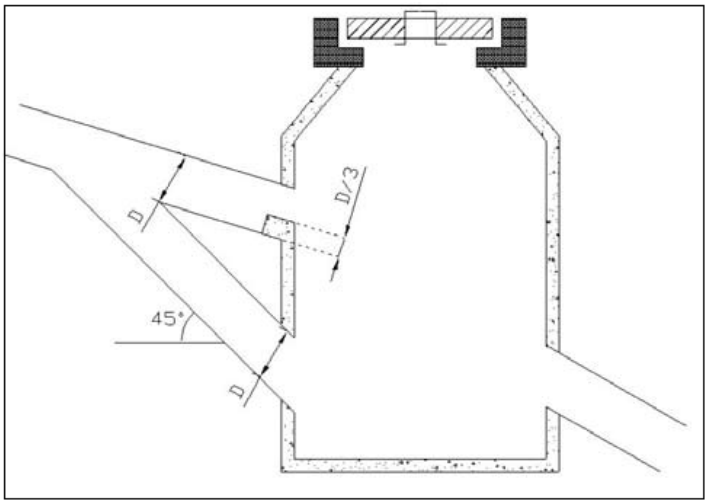


Figura 8-7 Cámara de caída con tubería externa - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

Si la tubería de llegada tiene un diámetro superior a 900 mm (35") no es suficiente el tubo de caída, por lo tanto debe diseñarse una estructura de disipación de

energía o una cámara de quiebre con tabiques verticales, como se muestra es las siguientes figuras.

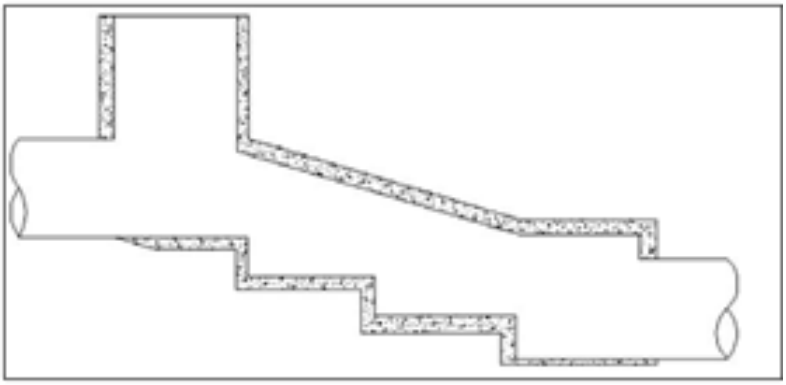


Figura 8-8 Estructuras de disipación escalonada - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

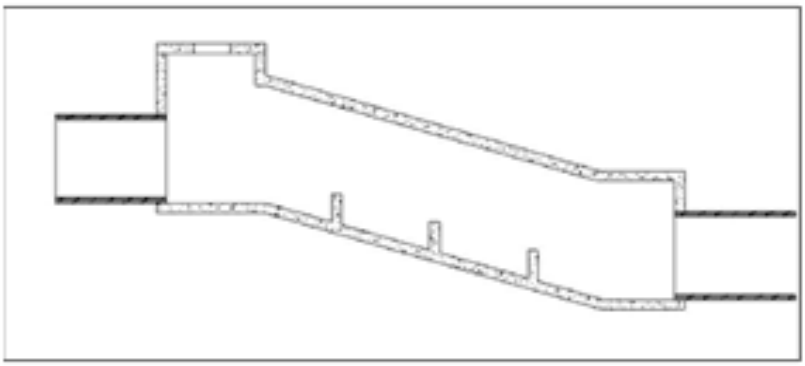


Figura 8-9 Esquema de cámara de quiebre con tabiques verticales - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

9.4.3 Cámaras de caída bajo régimen supercrítico

Si a la cámara de caída llegan tramos con régimen de flujo supercrítico, se debe verificar que no se presenten sobrecargas en la cámara, calculando la profundidad esperada de agua en dicha estructura. El caudal de entrada máximo permitido para la utilización de estas cámaras es de 5 m^3/s.

En el diseño de las cámaras de caída bajo régimen supercrítico se debe suponer que la totalidad de la energía cinética del flujo es disipada en la caída. Por lo que el fluido tiene que aumentar la energía potencial elevando su nivel al interior de la estructura de conexión y/o inspección. De este modo el conducto de salida opera

como un conducto cerrado que tiene control en la entrada, como se muestra en la siguiente figura.

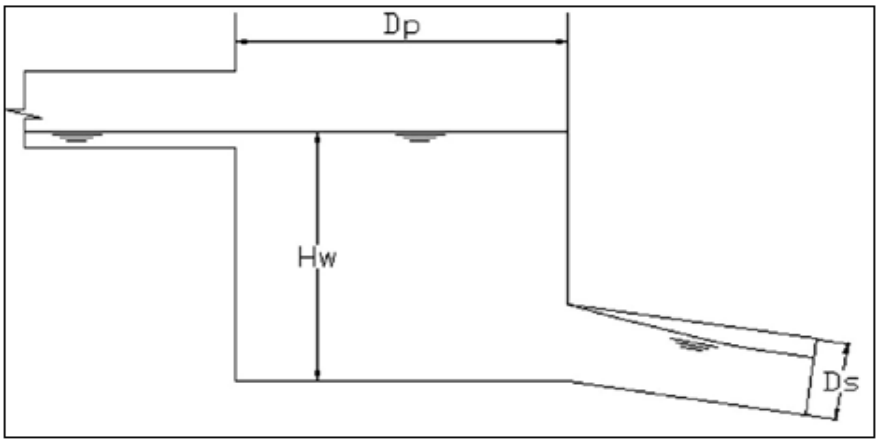


Figura 8-10 Unión de tuberías con caída en la estructura de conexión y/o inspección - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

Si los conductos cerrados operan con control a la entrada lo pueden hacer con ésta sumergida o no. El cálculo de la altura que debe alcanzar el fluido al interior de la cámara para poder vencer la resistencia del control, se calcula de forma diferente para cada caso. Esta altura debe asegurar que las tuberías afluentes no trabajen ahogadas.

- Conductos cerrados con control a la entrada sumergida: los conductos cerrados operan con control a la entrada si la siguiente ecuación es mayor que 0,62

Ecuación D.A.1.5 Titulo D RAS 2000

$$\frac{Q}{D_s^2 * (g * D_s)^{0,5}}$$

Q = Caudal de salida en la estructura de conexión y/o inspección (m^3/s).
D_s = Diámetro interno de la tubería de salida (m).
g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

9.5 SUMIDEROS

Los sumideros son estructuras de captación de aguas lluvias por escorrentía superficial, ubicados en pasos peatonales o vías vehiculares. Los sumideros

pueden ser construidos transversal o longitudinalmente con respecto al sentido del flujo.

9.5.1 Consideraciones para su diseño

La capacidad de recolección de los sumideros debe ser consistente con la capacidad de evacuación de la red de tuberías, para evitar que en época de fuertes lluvias el sistema colapse.

Los sumideros deben ubicarse en puntos estratégicos donde puedan captar la mayor cantidad de aguas lluvias, como son: antes de los cruces de calles y pasos peatonales, antes de puentes y terraplenes, en puntos bajos y depresiones, y en calles donde se presente alta reducción de pendiente longitudinal.

9.5.2 Parámetros de diseño

En cuanto al dimensionamiento de la tubería de conexión de un sumidero al sistema de alcantarillado, debe tener como mínimo un diámetro de 200 mm (8”) y una pendiente del 2 %, y su longitud no puede superar los 15 m.

9.5.3 Cálculo del caudal en la cuneta

El caudal de escorrentía superficial que conduce una cuneta se calcula mediante la siguiente ecuación, que es una variación de la ecuación de Manning. Se debe tener información clara de las características del flujo de escorrentía superficial y el comportamiento hidráulico de la zona de captación.

Ecuación D.A.2.1 Titulo D RAS 2000

$$\mathbf{Q = 0{,}375 * Y_o^{8/3} * (z/n) * S_o^{1/2}}$$

Q = Caudal en la cuneta (m^3/s).
Y_o = Profundidad mayor de agua en la cuneta (m).
z = 1/ Pendiente transversal (m/m).
S_o = Pendiente longitudinal (m/m).
n = Coeficiente de rugosidad de Manning ($s/m^{1/3}$).

Se debe tener en cuenta que **n** debe ser incrementado si el efecto del flujo lateral en la calle así lo amerita, pues el flujo extendido y poco profundo y la profundidad transversal variable, provoca que no haya simetría y que la distribución de los esfuerzos cortantes sea irregular. El coeficiente de rugosidad **n** en cunetas de pavimento puede tener un valor de 0,015.

Por ejemplo, si la pendiente longitudinal es del orden de 1% el error de suponer flujo uniforme es de alrededor del 3%; pero éste se incrementa si la pendiente disminuye, de tal modo que si la pendiente es muy suave, la capacidad de la cuneta es mucho menor que la calculada con la ecuación de Manning. En casos como éste el flujo en la cuneta debe calcularse con base en flujo espacialmente variado. Además cuando el flujo en la cuneta se concentra alrededor del sumidero, la profundidad es controlada por las características de entrada del mismo y no por la hidráulica de la cuneta.

Normalmente la pendiente transversal de las cunetas es del 2%. Si el flujo de las cunetas está en el orden de 100 L/S se debe construir un sumidero para interceptar la escorrentía.

9.5.4 Tipos de sumideros

9.5.4.1 Sumidero Transversal

Es una estructura en concreto reforzado construida sobre todo el ancho de la vía, sobre la cual se instala una rejilla en hierro fundido. Su capacidad de captación es alta, por eso se construye sobre vías de alta pendiente, pero por el frecuente paso de vehículos se produce fractura en las rejillas y acumulación de desperdicios. Por medio de la siguiente ecuación se determina la longitud de la rejilla, la cual debe ser suficiente para recibir las aguas por escorrentía.

Ecuación 8-41 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{L = \frac{Q * F_s}{e * c * b * (2 * g * E)^{0.5}}}$$

L = Longitud de la rejilla (m).
Q = Caudal de diseño (m3/s).
e = Área libre / Área total.
c = Coeficiente de descarga.
b = Ancho del sumidero transversal (ancho de la vía) (m).
E = Energía específica sobre la reja (m).
F_s = Factor de seguridad igual a 2.

9.5.4.2 Sumidero Lateral

Es una estructura en concreto construida junto al bordillo o anden de la vía sobre la cual se instala una rejilla en hierro fundido. Es ubicada en zonas deprimidas y antes de los cruces de calles y pasos peatonales. Lo más conveniente para la

captación de aguas lluvias es que las barras de las rejillas estén en el sentido de la vía; pero si la separación entre las barras es mayor a 2.5 cm, estás deben estar en sentido transversal a la vía con el fin de evitar accidentes a los motociclistas.

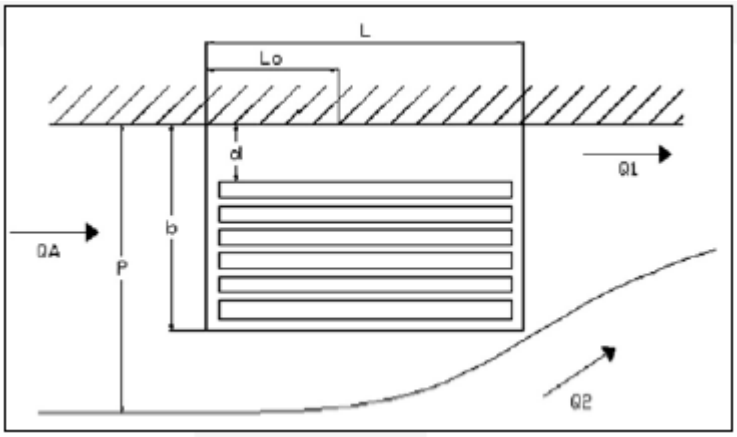


Figura 8-17 Sumidero de rejilla - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

Ecuación 8-40 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$L_0 = k * y_A * \frac{V_A}{\sqrt{(g * y_A)}}$$

L_o = Longitud mínima de rejillas (m)
K = Coeficiente que depende de la geometría de la rejilla y de la separación entra barras.
y_A = Altura del flujo de aproximación (m).
v_A = Velocidad de aproximación (m/s).
g = Aceleración de la gravedad (m/s).

9.6 ALIVIADEROS

Los aliviaderos son usados en sistemas de alcantarillado combinado para disminuir los costos de conducción hasta la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR o al sitio de disposición final. Los aliviaderos entran en funcionamiento cuando se presentan lluvias y aumenta el caudal de modo que el diámetro de la tubería del sistema de alcantarillado no da abasto, y conducen parte del caudal a drenajes naturales o almacenamientos temporales. Si el diseñador lo considera conveniente puede utilizarse un tanque para almacenar los sólidos y disminuir la contaminación.

Los tres tipos de aliviaderos que el diseñador puede utilizar son lateral, transversal o de tipo vórtice y debe permitir que el caudal de aguas residuales fluya

directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR o al sitio de disposición final cuando no se presenten lluvias.

9.6.1 Consideraciones Generales

El caudal transportado por el aliviadero es una fracción del caudal conformado de las aguas residuales y las aguas lluvias, en donde los residuos se mezclan, por lo que se diluye la concentración media de las aguas residuales. En consecuencia, el caudal de alivio transporta una carga residual diluida que afecta el cuerpo de agua receptor. Los factores que influyen en estos impactos son el grado de dilución, las características hidrológicas de la zona, comportamiento hidráulico de los aliviaderos, volúmenes esperados de alivio, características hidráulicas, hidrológicas, calidad del agua y autodepuración del cuerpo receptor.

9.6.1.1 Impactos de los Aliviaderos

Al entrar en operación los aliviaderos se generan una serie de impactos sobre el cuerpo receptor de agua, como son sobre la calidad del agua, sobre la salud pública y sobre el impacto visual. Los impactos sobre el cuerpo receptor causan agotamiento del oxígeno disuelto. Los impactos sobre la salud pública son causados por las bacterias y organismos patógenos entregados al cuerpo receptor. Los impactos visuales son generados por las basuras y cuerpos sólidos que pueden salir del sistema de alcantarillado.

9.6.2 Estudios Previos

Se debe hacer un estudio detallado a los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial, donde pueda considerarse la disposición de las aguas de un sistema de alcantarillado combinado. Deben estudiarse los eventos de precipitación que puedan poner en funcionamiento los aliviaderos y la distribución temporal de la escorrentía, para calcular el volumen de agua y las cargas contaminantes derivados de estos. Se debe tener en cuenta la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR (si existe) y si tiene aumento de capacidad en caso de que se requiera hacerlo.

9.6.3 Parámetros de Diseño

Para el diseño de un aliviadero deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

9.6.3.1 Caudal de alivio

El caudal de alivio es el resultado de la multiplicación del caudal medio diario y el factor de dilución. El cálculo del factor de dilución es la relación entre el caudal a partir del cual el aliviadero entra en funcionamiento y el caudal de aguas residuales. El factor de dilución debe ser mayor a 1, y su valor varia teniendo en cuenta el tamaño de la tubería, ubicación, caudal o volumen del cuerpo receptor y del impacto que la descarga genere sobre éste.

Si el valor del factor de dilución es bajo se entiende que es un tramo de tubería secundario que alivia el curso de agua con poco caudal, así como los valores altos corresponden a una intercepción o un emisario final.

En cuanto más alto sea el factor de dilución, más grandes serán las tuberías de la red y el tratamiento a las aguas, pero el impacto potencial a los cuerpos receptores de las aguas del aliviadero disminuirá debido a los volúmenes derivados y al contenido de concentración.

9.6.3.2 Frecuencia de alivios

Para establecer el funcionamiento que tendría el aliviadero durante el año se debe caracterizar la frecuencia de eventos de precipitación. Este número debe estar relacionado con el periodo de retorno del diseño de la red; a un periodo de retorno mayor, menor debe ser la frecuencia anual de operación del aliviadero.

9.6.3.3 Volúmenes de alivio esperados

Se deben determinar los volúmenes de alivio esperados, realizando un análisis a los eventos de precipitación que posiblemente generen escorrentía en la zona del proyecto. La escorrentía es función de la humedad del suelo antes de la precipitación y del uso de la tierra. Por lo tanto, el volumen de alivio es función del hidrograma generado y de las características de la estructura. Para calcular este volumen puede usarse el módulo de escorrentía, que puede estar entre 10 y 20 L/s-ha y depende de las características físicas y climatológicas de la zona.

9.6.3.4 Capacidad del cuerpo de agua receptor

Para el diseño y construcción de los aliviaderos deben tenerse en cuenta el efecto que causara sobre el cuerpo receptor, y el efecto acumulado aguas arriba. Debe caracterizarse hidráulicamente e hidrológicamente el cuerpo de aguas receptor para establecer las condiciones de asimilación y depuración.

9.6.4 Métodos de cálculo de aliviadero para vertedero lateral

Para realizar el cálculo del caudal de vertimiento son usadas las ecuaciones de conservación del momentum lineal y de la masa para configurar las ecuaciones de flujo espacialmente variado y se pueda realizar el diseño de este tipo de estructuras. La ecuación de flujo espacialmente variado es la siguiente:

Ecuación 8-42 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{Q_c * y * \left(-\frac{d * Q_c}{d_x}\right)}{(g * B^2 * y^3) - Q_c^2}$$

Q_c = Caudal en la cañuela (m^3/s).
y = Profundidad de agua en la cañuela (m).
g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
B = Ancho de cañuela (m).

Integrando esta última ecuación se llega a la siguiente ecuación para calcular el caudal vertido por la estructura de alivio:

Ecuación 8-43 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\mathbf{Q} = \frac{2}{3} * C_d * \sqrt{2 * g} * H^{\frac{3}{2}}$$

C_d = Coeficiente de descarga del vertedero (-).
H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).

El coeficiente de descarga C_d se calcula de acuerdo por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 8-44 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$C_d = 0.602 + 0.0832 * \frac{H}{H_v}$$

C_d = Coeficiente de descarga (-).
H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).
H_v = Altura del vertedero (m).

Si se presenta el caso en que el vertimiento se haga a ambos lados de la estructura, el valor de este último coeficiente debe duplicarse.

Para calcular la descarga si el régimen hidráulico es supercrítico se usara la siguiente ecuación:

Ecuación 8-45 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{Q = \frac{2.805 * b}{(H_2 - H_1)} * \left(0.2348 * \left(H_2^{2.5} - H_1^{2.5} \right) - \frac{6.57 * 10^{-4}}{P} * \left(H_2^{3.5} - H_1^{3.5} \right) \right)}$$

H_2 = Altura de la lámina de aguas, aguas abajo en metros.
H_1 = Altura de la lámina de aguas, aguas arriba en metros.
P = Altura del aliviadero en metros.

9.6.4.1 Configuración y dimensiones

Las siguientes son las dimensiones que se recomiendan para este tipo de estructuras de alivio:

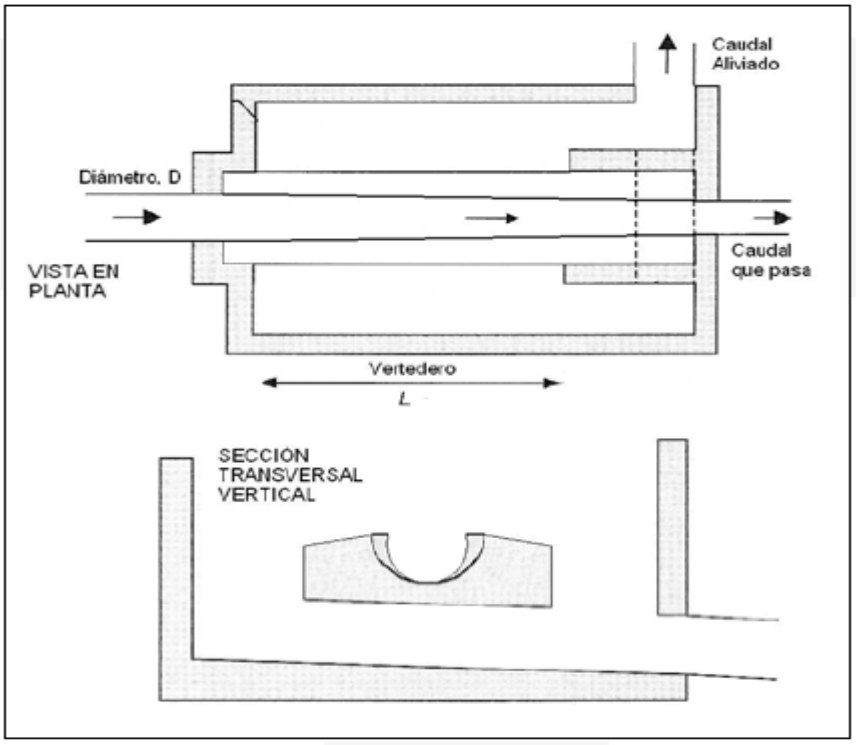


Figura 8-19 Aliviadero de vertedero lateral - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

9.6.5 Métodos de cálculo de aliviadero para vertedero transversal

En el diseño hidráulico de los vertederos transversales, debe ser tenida en cuenta unas estructuras asociadas como lo son los tanques de aquietamiento. Hidráulicamente, estas estructuras operan como un vertedero transversal y un tubo estrangulado, buscando disminuir la contaminación ocasionada por los alivios

en alcantarillados combinados, a partir del aquietamiento del flujo dentro de la cámara, por lo cual los sólidos tienden a sedimentarse y por consiguiente a continuar por el trayecto hacia aguas abajo.

Para las estructuras de alivio para vertedero transversal, el ancho del vertedero es el mismo ancho total de la cámara. Para los vertederos de ancho total, se debe utilizar una ecuación que relacione el caudal aliviado con la altura de la lámina de agua por encima de la cresta del vertedero.

Ecuación 8-46 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{Q = \frac{2}{3} * C_d * b * \sqrt{2 * g} * (H + 0.0012)^{\frac{3}{2}}}$$

Q = Caudal aliviado.
C_d = Coeficiente de descarga (-).
b = Ancho de vertedero (m).
H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).

El coeficiente de descarga de la anterior ecuación se calcula de acuerdo con la siguiente:

Ecuación 8-47 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{C_d = 0.602 + 0.0832 * \frac{H}{H_v}}$$

C_d = Coeficiente de descarga (-).
H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).
H_v = Altura del vertedero (m).

Considerando que se tienen múltiples incógnitas, (no se conocen b, H, H_v, el caudal vertido (Q) ni el caudal que continúa por la red de alcantarillado), es necesario realizar un proceso de tanteo y error hasta que logre cumplir con la ecuación de continuidad en la cámara del aliviadero.

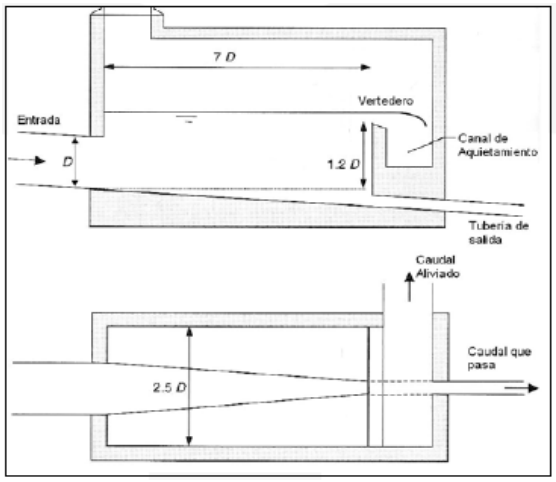


Figura 8-20 Aliviadero de vertedero transversal - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

9.7. TRANSICIONES

Las transiciones deben utilizarse cuando un canal abierto descarga sobre otro de diferente sección. Para el diseño de las transiciones deben considerarse las pérdidas de carga en las uniones y en los cambios de sección. Las transiciones deben diseñarse para flujo subcrítico y el cambio de la geometría del canal debe ser gradual. El ángulo entre ambas secciones debe ser de 12º.

9.7.1 Parámetros de Diseño

Los cambios de forma en la unión de los canales abiertos con pozos, puentes, sifones y otras, debe hacerse tomando como referencia la geometría usual, y teniendo en cuenta las pérdidas calculadas.

Las pérdidas en contracciones para flujo en canales abiertos se calculan utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 8-50 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$H_c = 0.1 * \left(\frac{v_2^2}{2 * g} - \frac{v_1^2}{2 * g} \right)$$

Esta ecuación es válida para $v_2 > v_1$, donde:

v_2 = Velocidad aguas abajo de la contracción (m/s).
v_1 = Velocidad aguas arriba de la contracción (m/s).

Las pérdidas en expansiones para flujo en canales abiertos se calculan utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 8-51 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$H_e = 0.2 * \left(\frac{v_1^2}{2 * g} - \frac{v_2^2}{2 * g} \right)$$

Esta ecuación es válida para $v_2 < v_1$, donde:
v_2 = Velocidad aguas abajo de la expansión (m/s).
v_1 = Velocidad aguas arriba de la expansión (m/s).

9.8 SIFONES INVERTIDOS

9.8.1. Consideraciones para su proyección

Los sifones invertidos pueden ser utilizados cuando se requiera superar obstáculos como conducciones, viaductos subterráneos, ríos o quebradas, entre otros, que dificultan la instalación de tuberías de alcantarillado sanitario y/o pluvial en condiciones normales.

9.8.2. Parámetros de diseño

Los sifones invertidos deben estar conformados mínimo por dos tuberías teniendo en cuenta el caudal de diseño que se requiera conducir y la facilidad de limpieza. La velocidad mínima de flujo para el caso de alcantarillado pluvial o combinado debe ser de 1,2 m/s y un diámetro mínimo de 300 mm (12”), y para el sistema de alcantarillado sanitario la velocidad mínima es 1,0 m/s y un diámetro mínimo de 200 mm (8”); el diseñador debe asegurarse de que la velocidad mínima sea mayor que la velocidad de autolimpieza, la cual se determina según el esfuerzo cortante. Para que las tuberías entren en servicio progresivamente, la entrada a los conductos auxiliares debe ser regulada por vertederos.

Los diámetros mínimos de las tuberías de sifones invertidos y el esfuerzo cortante deben cumplir con las condiciones expuestas en la presente norma para aguas residuales o para aguas lluvias.

Para calcular el diámetro de las tuberías del sifón se debe suponer que estas trabajan a presión; para que el cálculo de la pérdida de energía sea la suma de las pérdidas por fricción y de las pérdidas menores.

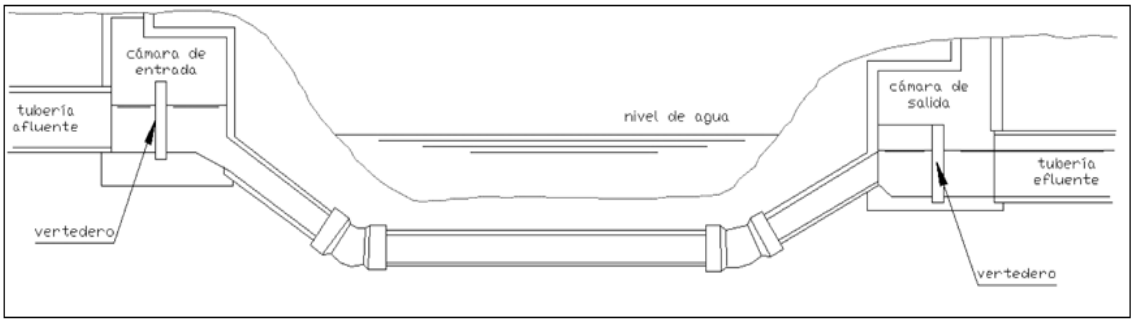


Figura 8-25 Esquema sifón invertido- Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

9.8.3 Métodos de cálculo

Calculo de las pérdidas de energía en el sifón invertido:

- Perdida de energía menor en la cámara de entrada al sifón invertido:

Ecuación 8-52 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$h_{me} = 1.1 * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

V_1: velocidad del agua en la tubería de entrada al sifón

- Perdidas de energía por los codos del sifón invertido:

Ecuación 8-53 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$H_c = 0,1316 + \frac{\alpha}{90} * \frac{v_2^2}{2 * g}$$

V_2: velocidad del agua en la tubería de salida al sifón
α: ángulo del codo en grados

- Perdidas por fricción en la tubería del sifón invertido:

Ecuación 8-54 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$H_f = f * \frac{l}{D} * \frac{v_2^2}{2 * g}$$

- Perdida menor en la cámara de salida del sifón invertido:

Ecuación 8-55 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{h_{ms} = \left(\frac{A_3}{A_2} - 1\right) * \frac{v_2^2}{2 * g}}$$

A_2 = área mojada transversal del sifón invertido.
A_3 = área mojada transversal de la tubería de salida.

- La pérdida total de energía en el sifón invertido es:

Ecuación 8-56 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{H = h_{me} + H_e + H_f + h_{ms}}$$

9.8.4 Sifón invertido sobre el nivel del terreno

Si se presenta una situación en la que el sifón invertido se encuentre por encima del nivel del terreno el diseño se hace con la siguiente ecuación:

Ecuación 8-57 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{Z_1 + \frac{P_1}{P * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} = Z_2 + \frac{P_2}{P * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + h_f + \sum h_m}$$

Los coeficientes de perdida menor a la entrada y a la salida del sifón invertido son 0,5 y 1,0 respectivamente. Para calcular las pérdidas por fricción debe utilizarse la ecuación de Darcy-Weisbach. En el diseño del sifón invertido sobre el nivel del terreno debe tenerse en cuenta la altura de vacío, h_v, y así evitar problemas de cavitación.

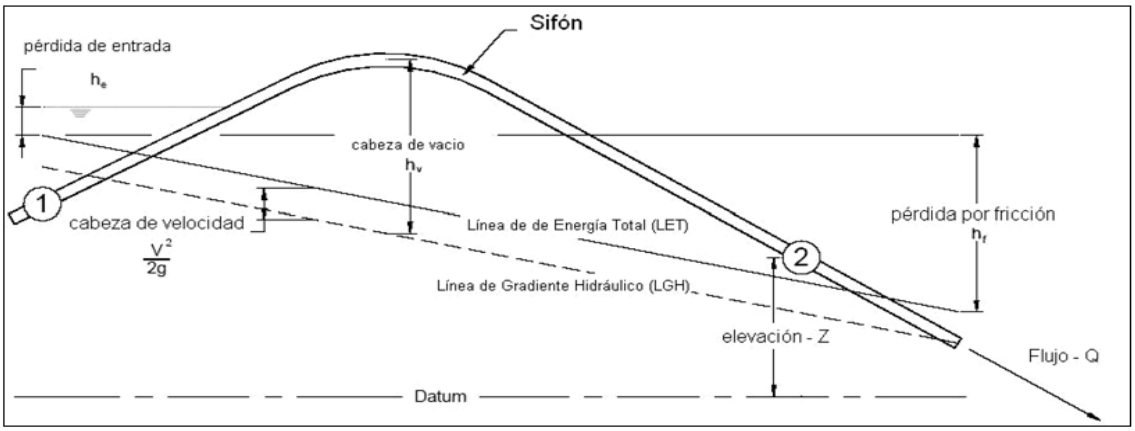


Figura 8-26 Esquema sifón invertido sobre nivel del terreno - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

9.8.4.1 Limpieza de un sifón invertido

La mejor forma de hacer una buena limpieza a un sifón invertido es mediante los chorros de agua a presión; para esto pueden ubicarse pozos de registro o cámaras de limpieza por las que se pueda acceder a quitar los materiales.

Para evitar el taponamiento de los sifones con materiales es recomendable colocar rejillas en las entradas de las tuberías del sifón invertido, de modo que el material pueda ser removido fácilmente. Estas rejillas se deben utilizar para tuberías con diámetro de 760 mm (30”) o menor.

Si el diseñador lo considera necesario deben proyectarse desarenadores aguas arriba del sifón invertido para impedir el ingreso de sedimentos y residuos sólidos al sistema.

Para facilitar la limpieza del sifón invertido, no se deben utilizar ángulos agudos verticales ni horizontales, sino que debe proyectar curvas suaves. No es conveniente diseñar con pendientes mayores de 22,5°, porque dificultaría las labores de remoción de sedimentos. No está permitido variar el diámetro de la tubería en la longitud del sifón.

9.8.5 ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA.

El diseño de las estructuras de disipación de energía tiene como objetivo entregar el caudal del sistema de alcantarillado a los cuerpos receptores, disminuyendo la velocidad del flujo y haciendo transición de estado supercrítico a subcrítico, para de este modo minimizar el nivel de energía de entrada para evitar que se presente erosión o socavación.

9.8.5.1 Canales escalonados

Los canales escalonados se deben utilizar cuando la caída vertical del flujo tenga una altura considerable o cuando la topografía del terreno no permite construir una estructura de caída libre. Los canales escalonados se pueden calcular como una sucesión de caídas en las cuales los pequeños flujos generan una sucesión de flujos saltantes. En estos canales se presentan el flujo crítico y el flujo subcrítico. El flujo crítico se presenta al final de cada escalón debido a la fuerza de caída sobre el escalón aguas abajo, y el flujo subcrítico se obtiene por la formación del resalto hidráulico que se presenta hasta el siguiente escalón.

La disipación de energía se logra con el rompimiento y mezcla del chorro, y por la formación de un resalto hidráulico en el escalón. ΔH es la pérdida total de cabeza, y se toma como la diferencia entre la máxima altura disponible, H_1, y la altura residual aguas abajo, H_{res}. La pérdida total de energía se calcula por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 8-66 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \left(\frac{0.54 * \left(\frac{y_c}{\Delta_Z}\right)^{0.275} + \frac{3.43}{2} * \left(\frac{y_c}{\Delta_Z}\right)^{-0.55}}{\frac{3}{2} + \frac{\Delta_Z}{y_c}} \right)$$

ΔH = Pérdida total de altura debido a la estructura escalonada (m).
H_1 = Máxima altura disponible agua arriba de la estructura (m).
Δ_Z = Altura total de caída (m).

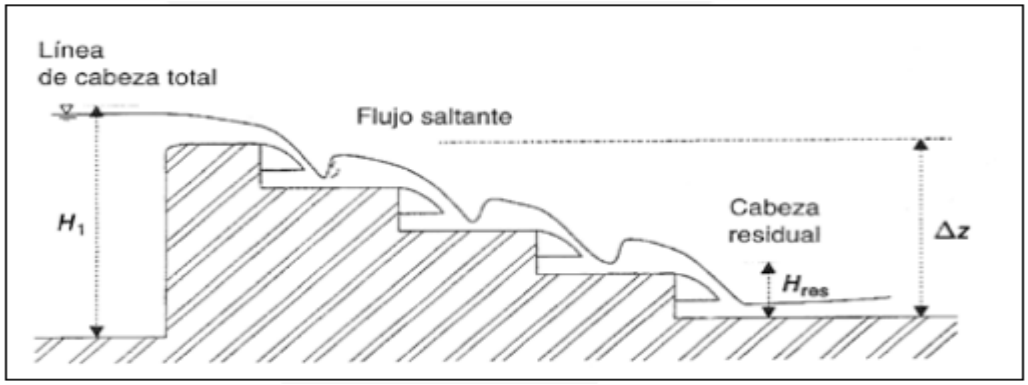


Figura 8-29 Esquema de caída escalonada - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

En los casos en que se presente caudal de flujo grande, el régimen de flujo saltante en el disipador de energía se convierte en un régimen de flujo turbulento extremadamente rugoso, es decir en flujo rasante. Dependiendo de la pendiente

del canal y de la altura del escalón se presenta la transición de flujo saltante a flujo rasante, y de si cumple con la siguiente ecuación.

Ecuación 8-67 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\frac{y_c}{h} > 1.057 - 0.465 * \frac{h}{l}$$

h = Altura del escalón (m).
l = Longitud del escalón (m).

Si se presenta régimen de flujo rasante en el canal escalonado, se debe hacer el cálculo de la energía residual utilizando la siguiente figura.

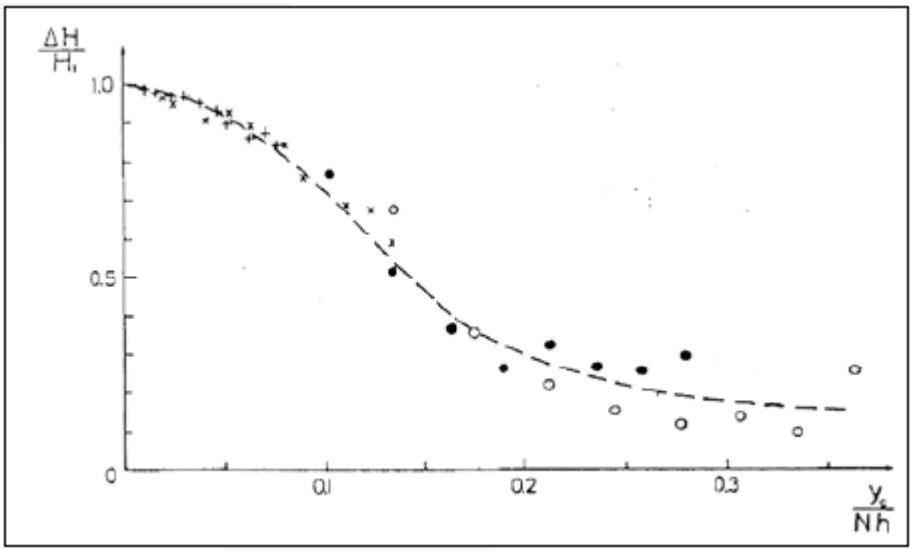


Figura 8-30 Relación entre porcentaje de disipación y altura caída - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

h = Altura del escalón (m).
N = Número de escalones (-).
y_c = Profundidad crítica (m).
ΔH = Pérdida total de cabeza debido a la estructura escalonada (m).
H_1 = Máxima altura disponible aguas arriba de la estructura (m).

10. DISEÑOS ESTRUCTURALES Y CIMENTACIÓN DE LAS TUBERÍAS

Los siguientes son los pasos que se deben seguir y los aspectos que se deben tener en cuenta para realizar el cálculo de cargas sobre las tuberías del sistema

de alcantarillado sanitario y/o pluvial, así como el diseño de la cimentación del sistema:

10.1 Cargas externas a una tubería

Las cargas externas que soporta una tubería se divide en los siguientes tipos:

1. Cargas de Trabajo

- El peso propio de la tubería.
- El peso del fluido.
- La carga muerta externa.

Para un diseño la carga muerta externa debe calcularse por unidad de longitud de cada tubería, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación A.5-1 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$W_e = W_d + W_{csu} + W_w$$

W_e = La carga muerta externa total de diseño por unidad de longitud de la tubería.
W_d = La carga del suelo.
W_{csu} = La carga externa concentrada.
W_w = La carga externa equivalente producida por el peso de las aguas residuales y/o pluviales en la tubería.

2. Cargas Vivas: Producidas por el paso de los automotores y por la ejecución de una obra.

3. Cargas por Impacto: Estas cargas se representan por un factor que aumenta las cargas vivas.

10.1.1 Cálculo de las cargas externas

Se debe tener en cuenta si la tubería es flexible o es rígida para calcular las cargas externas.

10.1.1.1 Tuberías flexibles

Para una tubería flexible deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Cargas del suelo: es la carga externa a la tubería producida por el peso del suelo y depende del ancho de la excavación. Esta carga puede presentarse de las siguientes dos formas:

- Zanja angosta: ancho de la zanja (B_d) es menor que dos veces el ancho de la tubería (D_e). (Bd < 2De).

Ecuación A.5-2 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$w_d = c_d * \gamma_r * b_d^2 * \frac{D_e}{B_d} = C_d * \gamma_r * B_d * D_e$$

W_d= Carga muerta del suelo sobre la tubería (N/m).
γ_r = Peso unitario de material de relleno (N/m³).
B_d = Ancho de zanja en la parte superior de la tubería embebida (m).
D_e = Diámetro externo de la tubería (m).
C_d = Coeficiente de carga de zanja.

Ecuación A.5-12 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$C_d = \frac{1 - e^{-2*K*\mu' *H/B_d}}{2 * K * \mu'}$$

B_d = Ancho de la zanja en la cota clave de la tubería (m).
μ' = Coeficiente de fricción de deslizamiento entre el material de relleno y los lados de la zanja (adimensional).
H = Profundidad de cobertura hasta la cota clave de la tubería (m).
K = Relación de Rankine: es la razón entre la presión lateral activa y la presión vertical (adimensional).

Ecuación A.5-13 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\mathbf{K} = tan\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

ϕ' = Ángulo de fricción interna entre el material del relleno y el suelo (°)

- Zanja ancha: ancho de la zanja (B_d) es mayor que dos veces el ancho de la tubería (D_e). (Bd > 2De).

Ecuación A.5-14 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$W_c = C_c * \gamma_r * D_e^2$$

Ecuación A.5-15 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$C_c = \frac{e^{-2*K*\mu'*H/D_e} - 1}{2 * K * \mu'}$$

C_c = Coeficiente de carga de la zanja.

2. Deflexión de la sección transversal de la tubería: La resistencia en campo está dada por la rigidez de la tubería y del suelo, la cual debe ser suficiente para que la deflexión de la tubería bajo la carga no sobrepase la deflexión máxima permisible. En los catálogos de las tuberías se encuentran valores empíricos de deflexión a largo plazo para las diferentes condiciones en las que son instaladas.
El cálculo de la deflexión a largo plazo aproximada de tuberías flexibles, se hace utilizando la Formula Iowa Modificada, desarrollada por Spangler y Watkins.

Ecuación A.5-4 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\Delta_x = \frac{D_L * K_b * W * r^3}{E * I + 0,061 * E' * r^3}$$

Δ_X = Deflexión horizontal en la sección transversal de la tubería (m).
K_b = Factor de soporte.
D_L = Factor de retardo de deflexión.
W = Carga total sobre la tubería por unidad de longitud (N/m).
r = Radio promedio de la tubería (m).
E = Módulo de elasticidad de la tubería (MPa).
E' = Módulo de reacción de la subrasante (MPa).
I = Momento de inercia de la sección transversal de la pared del tubo (m^4/m).

Tabla A.5-2 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Valores de módulo de reacción de la subrasante

E' según el grado de compactación del material de soporte [7] en, (MPa)				
Tipo de Suelo (Sistema de Clasificación Unificada)	**Suelto**	**Bajo** < 85% Próctor < 40% Densidad relativa	**Moderado** 85%-95%Próctor 40%-70% Densidad relativa	**Alto** >95% Próctor >70% Densidad relativa
Suelos finos (LL>50)[8] Suelos con plasticidad media a alta CH, MH, CH-MH.	Consultar ingeniero geotecnista o en su defecto utilizar E´=0			
- Suelos Finos (LL<50). suelos sin plasticidad o con plasticidad media con menos del 25% de partículas gruesas. CL,ML,ML-CL.	0,35	1,4	2,8	6,9
- Suelos Finos (LL<50). Suelos sin plasticidad o con plasticidad media con más del 25% de partículas gruesas. CL,ML,ML-CL - Suelos gruesos con finos GM, GC, SM, SC[9]. Contenidos de finos de más del 12%	0,7	2,8	6,9	13,8
- Suelos gruesos sin partículas finas o muy pocos finos. GW, GP, SW, SP[8]. Con menos del 12% de finos	1,4	6,9	13,8	20,7
Roca Triturada	7,0	20,7	20,7	20,7
Precisión en términos del porcentaje de la deflexión[10]	±2	±2	±1	±0,5

Tabla A.5-1 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Valores para el factor de soporte K_b

Ángulo del perímetro interior soportado de la tubería en grados a (º)	K_b
0	0,110
30	0,108
45	0,105
60	0,102
90	0,096
120	0,090
180	0,083
Nota: 1º = 0,017 rad	

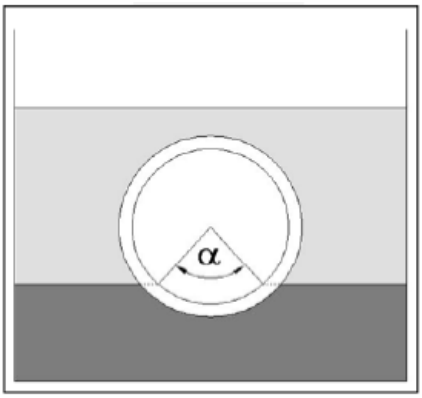


Figura A.5-1 Ángulo del perímetro interior soportado de la tubería- Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

Ecuación A.5-5 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$I = \frac{t^3}{12}$$

3. Pandeo de la tubería: la presión externa sobre la tubería no debe superar la presión de pandeo, para evitar que por la inestabilidad del suelo provoque daños en el sistema de alcantarillado.

- Presión externa sobre la tubería: el cálculo de esta presión debe hacerse considerando la peor condición, por medio de las siguientes ecuaciones:

Ecuación A.5-6 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$q_{ext} = \gamma * h_w + \frac{R_w * W_d}{D_N} + \frac{W_1}{D_N}$$

Ecuación A.5-7 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{q_{ext} = \gamma * h_w + R_w * \frac{W_d}{D_N} + P_V}$$

q_{ex} = Presión externa actuante (Pa).
γ = Peso específico del agua (N/m³).
h_w = Altura de agua por encima de la tubería (m).
W_d = Carga muerta del suelo sobre la tubería (N/m).
W_l = Carga viva sobre la tubería por metro de longitud (N/m).
D_N = Diámetro nominal de la tubería (m).
P_v = Presión interna de vacío (Pa). Es la diferencia numérica entre la presión atmosférica y la presión absoluta dentro del tubo.
R_w = Factor de flotación del agua

Ecuación A.5-8 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{R_w = 1 - 0,33 * \frac{h_w}{H}} \quad \text{Pero,} \quad \boldsymbol{0 \leq h_w \leq H}$$

H = Profundidad de cobertura hasta la cota clave de la tubería (m).

- Presión admisible de pandeo.

Ecuación A.5-9 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$q_a = \left(\frac{1}{F_s}\right) * (32 * R_w * B' * E' * \frac{E * I}{D_N^3})^{1/2}$$

q_a = Presión admisible de pandeo (Pa).
E' = Módulo de reacción de la subrasante (MPa).
E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (MPa).
D_N = Diámetro nominal de la tubería (m).

F_s= Factor de seguridad. Si H/D ≥2 F_s= 2,5
Si H/D <2 F_s= 3,0

D= Diámetro interno real de la tubería (m).
t = Espesor de la pared de la tubería (m).
B' = Coeficiente empírico de soporte elástico (-).

Ecuación A.5-10 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{B' = \frac{1}{1 + 4 * e^{(-0,065 * H)}}}$$

10.1.1.2 Tuberías rígidas

Para hacer el cálculo de la carga del suelo en las tuberías rígidas se debe considerar el peso del suelo que está sobre la tubería, más o menos las fuerzas cortantes de fricción con las paredes de suelo adyacente. Además, debe tenerse en cuenta el tipo de instalación que tendría la tubería, los cuales podrían ser:

1. Instalación en zanja angosta y ancha.
2. Instalación en terraplenes con proyección positiva.
3. Instalación en terraplenes con proyección cero.
4. Instalación en terraplenes con proyección negativa.
5. Instalación en terraplenes con zanja inducida.
6. Instalación en condiciones de túnel.

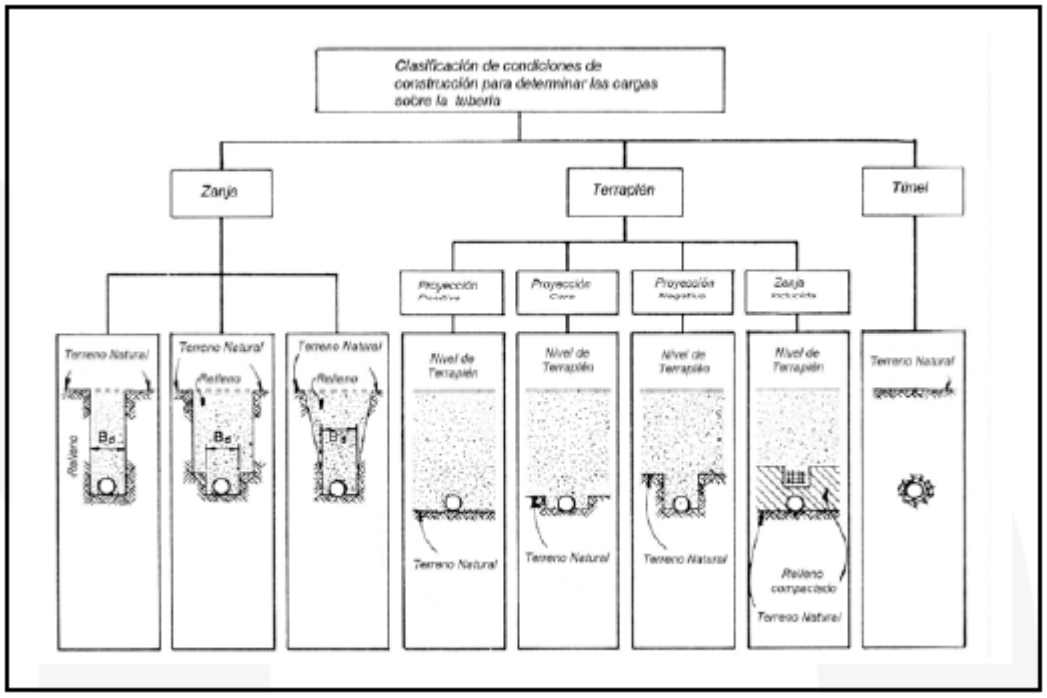


Figura A.5-2 Condiciones de instalación de tuberías- Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

1. Condición de zanja angosta o terraplén con proyección negativa o proyección cero: en este análisis la carga de suelo producida por el peso del material en la zanja menos la fuerza producida por la fricción entre el material de relleno y los bordes de la zanja, puede calcularse con la siguiente ecuación:

Ecuación A.5-11 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$W_c = C_d * \gamma_s * B_d^2$$

γ_s = Peso unitario de suelo (típicamente 19.6 kN/m^3).
B_d = Ancho de la zanja en la cota clave de la tubería (m).
C_d = Coeficiente de carga de zanja.

Ecuación A.5-12 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$C_d = \frac{1 - e^{-2*K*\mu' *H/B_d}}{2 * K * \mu'}$$

μ = Coeficiente de fricción entre la masa de suelo (-).
K = Relación de Rankine: la razón entre la presión lateral activa y la presión vertical (adimensional).
H = Profundidad de cobertura hasta la cota clave de la tubería (m).
Wc = Carga muerta de suelo en el caso de zanja angosta.

Ecuación A.5-13 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\mathbf{K} = tan\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

Si se considera que los datos obtenidos no son confiables, los valores de K*μ' pueden tomarse de la siguiente tabla:

Tabla A.5-3 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Valores de Kμ' según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Valor de K*μ'
Materiales granulados sin cohesión	0,1924
Máximo para arenas y gravas	0,1650
Máximo para suelos superficiales saturados	0,1500
Máximo para arcillas ordinarias	0,1300
Máximo para arcillas saturadas	0,1100

2. Condición de zanja ancha o terraplén con proyección positiva: en este análisis se asume que el suelo que está ubicado directamente sobre la tubería, se asienta menos que el suelo que está a ambos lados. En este caso la carga que es tenida en cuenta es la del peso del suelo sobre la tubería, y la del esfuerzo cortante entre este mismo suelo y el resto del suelo dentro de la zanja. Este método puede ser utilizado hasta cierta altura sobre la tubería, donde el plano de asentamiento sea el mismo.

Esta carga sobre el suelo se calcula con la siguiente ecuación, que es dada por Spangler tomando como base la teoría de Marston. La carga del suelo se da por unidad de longitud.

Ecuación A.5-14 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$W_c = C_c * \gamma_s * D_e^2$$

D_e = Diámetro exterior de la tubería (m).

Ecuación A.5-15 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$C_c = \frac{e^{-2*K*\mu'*H/D_e} - 1}{2 * K * \mu'}$$

3. Condición de túnel: Este método es usado cuando la profundidad de instalación de la tubería es muy alta o si las condiciones de la superficie dificultan la instalación por medio de una zanja. En el diseño se deben tener muy presentes las propiedades de los suelos y de los materiales con los cuales se va a construir.

El diseño debe estar soportado en manuales internacionales para el diseño de túneles y métodos sin zanja, en los cuales deben ser muy tenidos en cuenta los ensayos de laboratorio que deben realizarse a los suelos para tener información confiable de sus características.

10.2 Tipos de cimentación

10.2.1 Capa de cimentación

La capa de cimentación es la capa que hace contacto con el suelo del fondo de la excavación, y la cama de soporte de la tubería es la capa donde se coloca la tubería. Estas capas son usadas habitualmente, pero si las condiciones del suelo natural son muy buenas y se prepara adecuadamente, esté puede usarse como cimentación y soporte dependiendo del criterio del ingeniero diseñador.

10.2.2 Zona de atraque

El material a colocarse en la zona de atraque, ubicada entre la línea media de la tubería y la capa de soporte, debe colocarse y compactarse de forma uniforme teniendo precaución en no dejar vacíos por debajo del tubo. La compactación puede realizarse manual o mecánicamente dependiendo de si hay el espacio para ingresar la máquina y trabajar cómodamente.

Este material está compuesto por arenas, recebo o agregado triturado y deben cumplir con las Especificaciones Técnicas para la Construcción de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P.

Si en la zona donde se ejecuta el proyecto se presenta un elevado nivel freático no se deben utilizar arenas.

10.2.3 Relleno final

La compactación del relleno final debe ser buena para que no se presenten asentamientos futuros, por lo que hay que tener precaución en el material que va a utilizarse. También debe evitarse lanzar el material del relleno final desde alturas muy grandes, para evitar daños a las tuberías y la afectación del relleno inicial.

En las siguientes tablas se recomiendan algunos valores del ancho de la zanja, si estás tienen paredes verticales; dependiendo el diámetro de la tubería o la profundidad de la zanja.

Tabla A.5 -5. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Ancho mínimo de zanja de acuerdo con el diámetro de la tubería, para zanja de lados verticales (adaptado de BS EN 1610)

DN (mm)	Ancho mínimo de la zanja (m)
< 225	De + 0,4
225 - 350	De + 0,5
350 - 700	De + 0,7
700 - 1200	De + 0,85
> 1200	De + 1,0

Tabla A.5-6. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Ancho mínimo de zanja de acuerdo con la profundidad de la zanja (adaptado de BS EN 1610)

Profundidad de zanja (m)	Ancho mínimo de zanja (m)
< 1,0	No hay mínimo
1,0 - 1,75	0,8
1,75 - 4	0,9
>4	1,0

A continuación se describen los tipos de cimentación estándar más utilizados, donde se conocen el material de soporte utilizado, la profundidad, la geometría de la cimentación y el material de relleno. El “factor de soporte” F_m que se muestra

en la tabla, es la contribución que hace la cimentación a la capacidad de soporte de todo el sistema.

10.2.4 Cimentación Clase C

- El encamado desde el fondo de la zanja hasta la cota batea de la tubería debe tener una altura mínima de 1/8 del diámetro de la tubería, pero no menor 4 pulgadas o mayor que 6 pulgadas.
- La altura del material granular compactado debe llegar hasta 1/6 del diámetro de la tubería sobre la cota batea.
- La altura de la excavación sobre la cota clave debe ser mínimo de 30 cm, pero si la tubería pasa por una vía será mínimo de 80 cm.
- El factor de soporte es Fm = 1,5.

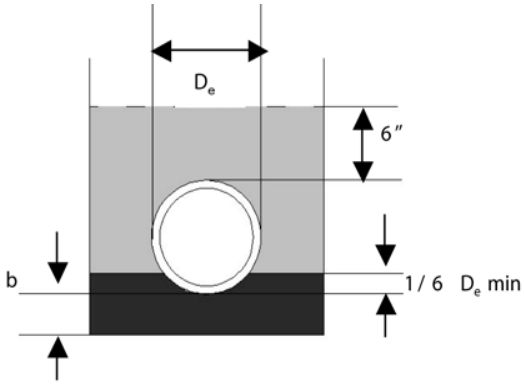


Figura A.5-4 Clase C: Encamado granular - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

10.2.5 Cimentación Clase B

- El encamado desde el fondo de la zanja hasta la cota batea de la tubería debe tener una altura mínima de 1/8 del diámetro de la tubería, pero no menor 4 pulgadas o mayor que 6 pulgadas.
- La altura del material granular compactado debe llegar hasta la mitad del diámetro de la tubería sobre la cota batea.
- La altura de la excavación sobre la cota clave debe ser mínimo de 30 cm, pero si la tubería pasa por una vía será mínimo de 80 cm.
- El factor de soporte es F_m = 1,9.

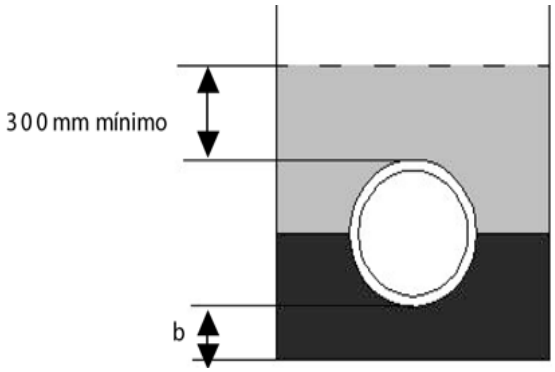


Figura A.5-4 Clase C: Encamado granular compactado - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

10.2.6 Cimentación con relleno de densidad controlada

- El encamado desde el fondo de la zanja hasta la cota batea de la tubería debe tener una altura mínima de 4 pulgadas o 1/8 del diámetro de la tuberías, esté debe ser en material granular compactado.
- La tubería esta soportada sobre piedra triturada desde la cota batea hasta la cota clave, y en todo el ancho de la zanja.
- La altura de la excavación sobre la cota clave debe ser mínimo de 30 cm, pero si la tubería pasa por una vía será mínimo de 80 cm.
- El factor de soporte es F_m = 2,8.

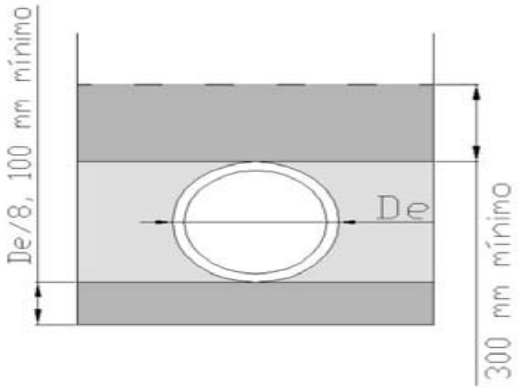


Figura A.5-6 Relleno de densidad controlada - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

10.2.7 Cimentación con atraque con piedra triturada

- La piedra triturada desde el fondo de la zanja hasta la cota batea de la tubería debe tener una altura mínima de 4 pulgadas o 1/8 del diámetro de la tuberías.
- La tubería esta soportada sobre piedra triturada desde el fondo de la zanja hasta su cota clave, y en todo el ancho de la zanja.
- La altura de la excavación sobre la cota clave debe ser mínimo de 30 cm, pero si la tubería pasa por una vía será mínimo de 80 cm.
- El factor de soporte es F_m = 2,2.

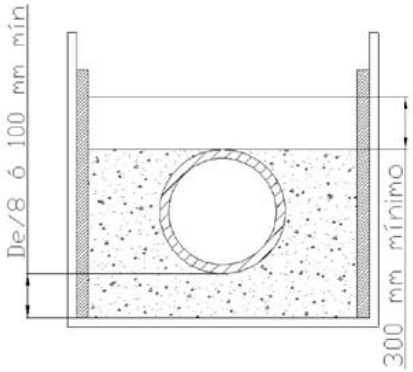


Figura A.5-7 Atraque con piedra triturada - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

10.2.8 Cimentación Clase A "Cuna de Concreto"

- La tubería esta soportada sobre una cuna de concreto, curada en sitio, con una altura de ¼ de su diámetro, mínimo 4 pulgadas y máximo 15 pulgadas hasta su cota batea.
- La altura de la cuna de concreto debe llegar hasta ¼ del diámetro de la tubería.
- El ancho de la cuna de concreto debe ser como mínimo diámetro externo de la tubería más 8 pulgadas.
- La altura de la excavación sobre la cota clave debe ser mínimo de 30 cm, pero si la tubería pasa por una vía será mínimo de 80 cm.
- El factor de soporte para relleno con concreto ligeramente compactado es F_m = 2,2. Para relleno con concreto bien compactado es F_m = 2,8.

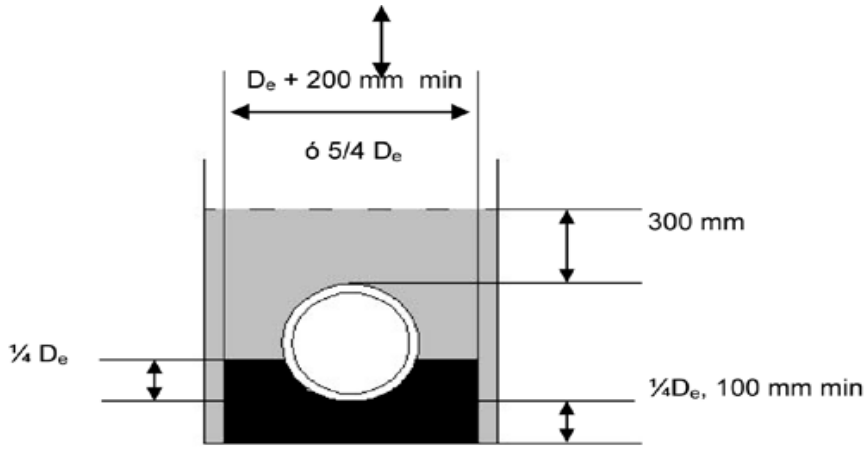


Figura A.5-8 Clase A: Cuna de concreto - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

El refuerzo de una tubería de concreto debe colocarse transversalmente al sentido de la misma y a 8 mm (3'') del fondo de la cuna.

El porcentaje de refuerzo, p, es la razón entre el área de refuerzo transversal y el área de la cuna de concreto, que se presenta en la cota de batea de la tubería sobre la línea central del refuerzo.

Para evitar que se produzcan grietas, la cuna empieza y termina en los bordes de las uniones de las tuberías. El factor de soporte para concreto ligeramente compactado es 2.2, para concreto bien compactado es 2.8, para concreto reforzado con un porcentaje de refuerzo, p, igual a 0,4 % se tiene un factor de soporte de hasta 3.4 y de 4.8 para un p de 1%.

10.2.9 Cimentación Clase A "Arco de Concreto"

- La tubería esta soportada sobre material granular bien compactado, con una altura de 1/8 de su diámetro, mínimo 4 pulgadas y máximo 6 pulgadas hasta su cota batea.
- El relleno con el material granular (grava pequeña de 0.25''hasta 0.75'') va desde la mitad de la tubería hasta el fondo de la zanja y ocupa todo el ancho de la excavación.
- Sobre la mitad superior de la tubería hay un arco de concreto reforzado o curado en sitio, que tiene un grosor mínimo de 4 pulgadas o ¼ del diámetro de la tubería, pero sin superar las 15 pulgadas.
- El ancho mínimo del relleno en concreto debe ser el diámetro externo de la tubería más 8 pulgadas.

- Si el arco se hace en concreto reforzado, el refuerzo se ubica a 2 pulgadas del borde y transversalmente a la tubería. El porcentaje de refuerzo para el arco es la razón entre el refuerzo transversal y el área del arco de concreto sobre la parte superior de la tubería y bajo la línea central del refuerzo.
- El factor de soporte para arcos de concreto simple de Clase A es F_m = 2,8. Para relleno con concreto reforzado con p=0.4 %, es 3.4 y para p=1 %, es 4.8.

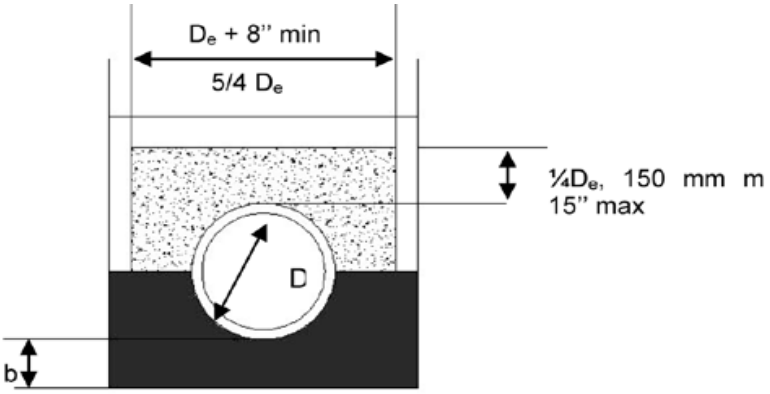


Figura A.5-9 Clase A: Arco de concreto - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

11. ESTACIONES ELEVADORAS Y DE BOMBEO

11.1 ALCANCE

En el presente capitulo se establecen los requisitos y los criterios que deben cumplirse para el diseño de las estaciones elevadoras y de bombeo para un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial, y así asegurar su calidad, durabilidad y funcionamiento.

11.2 ESTUDIOS PRELIMINARES

11.2.1 Concepción del proyecto

Para la construcción de las estaciones elevadoras y/o de bombeo se deben tener en cuenta los costos y los diseños hidráulicos para elegir una alternativa que garantice un excelente funcionamiento. Dentro de los costos deben incluirse los pozos de succión, válvulas, bombas, compuertas, etc.

A continuación se mencionan los aspectos que se deben tener en cuenta en el diseño de las estaciones elevadoras y/o de bombeo:

- La capacidad necesaria de la estación elevadora y/o de bombeo.
- El funcionamiento del sistema de alcantarillado existente, para mirar la compatibilidad con la estación elevadora y/o de bombeo, y evaluar su capacidad.
- Energía eléctrica disponible en la zona donde se construirá la estación elevadora y/o de bombeo.
- La altura estática total necesaria para llevar el caudal necesario aguas debajo de la estación de bombeo.
- En el caso de que hayan estaciones elevadoras y/o de bombeo en la zona del proyecto debe evaluarse la opción de ampliarla o de utilizar las instalaciones.
- Los datos geológicos y geotécnicos de la zona objeto de diseño.

11.2.2 Infraestructura existente en la zona

El diseñador debe tener en cuenta la infraestructura existente y proyectada en la zona en que tendrá influencia la estación elevadora y/o de bombeo dentro de la que se incluyen los sistemas de acueducto y de alcantarillado, vías, las redes de otros servicios públicos, y las urbanizaciones y edificaciones.

11.2.3 Estudio de la cantidad de agua a ser bombeada

El diseñador debe conocer la información hidrológica y el estudio de la demanda de agua en la zona sobre la que tendrá influencia la estación elevadora y/o de bombeo. Si no se dispone de esta información para la zona del proyecto, se debe realizar el estudio teniendo en cuenta lo establecido en esta norma, para determinar la capacidad actual y futura de la estación de acuerdo con la capacidad de la red de alcantarillado.

11.2.4 Condiciones de la zona del proyecto

El diseñador debe conocer los aspectos generales de la zona donde se construirá la estación elevadora y/o de bombeo dentro de los que se encuentran:

- Levantamiento topográfico planimétrico de la zona del proyecto.
- Ríos, cuencas, quebradas y sistemas de drenaje natural en la zona del proyecto.
- El certificado de uso del suelo y los planos urbanísticos de la zona cercana a la estación elevadora y/o de bombeo.

- Tener información clara sobre los propietarios de los terrenos donde se construirá la estación elevadora y/o de bombeo.

11.2.5 Topografía de la zona del proyecto

Para todos los proyectos debe hacerse levantamiento topográfico en campo para verificar la información suministrada en los planos. El diseñador debe contar con la siguiente información topográfica para la realización del diseño:

- Planos aerofotogramétricos y fotografías aéreas de la zona donde está proyectada construir la estación elevadora y/o de bombeo.
- Planos de catastro de la infraestructura y de las redes en la zona del proyecto que tengan relación con la estación elevadora y/o de bombeo.
- Levantamiento topográfico del sistema de información geográfica SIGMA de la zona donde se proyecta la construcción de la estación elevadora y/o de bombeo.

11.2.6 Geología y amenaza sísmica

El diseñador debe tener en cuenta los planos geológicos para identificar las zonas donde se corra el riesgo de deslizamientos e inundaciones o cualquier otro problema con la geología, considerando los planos de microzonificación sísmica. También se debe obtener información de las características del subsuelo y de las zonas de falla.
Para disminuir el riesgo cuando se presente un fenómeno sísmico se deben diseñar y utilizar tuberías y accesorios capaces de soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de diseño.

Para el diseño debe ser tenida en cuenta la Norma Sismo-Resistente NSR-98 para conocer el nivel de amenaza sísmica en la zona donde se proyecta construir la estación elevadora y/o de bombeo.

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo pueden ser afectadas por la deformación del suelo, es por tal motivo que se debe asignar un nivel de vulnerabilidad para que dentro del diseño sea tenida en cuenta una solución rápida de los daños causados por fallas geológicas, topográficas, sísmicas u otro factor.

11.2.7 Disponibilidad y capacidad de la red eléctrica

El diseñador debe tener en cuenta las la disponibilidad y la capacidad de la red de energía eléctrica en la zona donde está proyectada la construcción de la estación elevadora y/o de bombeo, teniendo en cuenta la demanda, la ubicación del punto más cercano para tomar energía, la frecuencia de los interrupciones, el voltaje, el ciclaje y el costo que tendría el kilovatio/hora.

Si el diseñador lo considera buena opción se debe diseñar una estación elevadora y/o de bombeo que genere su propia energía eléctrica y que sea más económica. En un diseño siempre debe tenerse en cuenta la construcción de una planta que esté disponible en casos de emergencia.

11.2.8 Estudio a la calidad del agua

Se debe tener en cuenta las propiedades físicas y químicas del agua, para evitar que las bombas y sus accesorios sufran daños al entrar en contacto con ella. Para evitar lo anterior, el diseño debe incluir un estudio a la calidad del agua que va a ser bombeada.

11.2.9 Estudio de suelos

Se debe tener en cuenta las condiciones del suelo donde se van a construir las Estaciones Elevadoras y/o de Bombeo siguiendo lo establecido en el Capítulo G2, “Aspectos Geotécnicos” del Título G del RAS 2000, al igual que tener en cuenta la opinión de un especialista en Geotecnia que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

11.3 CONDICIONES GENERALES

Las condiciones básicas y características con las que debe cumplir la estación elevadora y/o de bombeo a partir de la etapa de diseño son las siguientes:

11.3.1 Consideraciones para la ubicación y precauciones con la estación elevadora y/o de bombeo

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo debe tenerse certeza de la calidad del suelo donde será construida, y la calidad del agua que va a circular por ella.

Los siguientes aspectos deben tener en cuenta para garantizar el buen estado de la estación elevadora y/o de bombeo.

- El diseño de la estación elevadora y/o de bombeo debe incluir una adecuada ubicación y señalización de los equipos contra incendio a utilizar en casos de emergencia.
- Si la estación elevadora y/o de bombeo cuenta con una subestación eléctrica, dentro del diseño debe incluirse un pararrayos con conexión a tierra para proteger los equipos.
- Se debe tener en cuenta la posibilidad de adquisición de predios lindantes por si en el futuro es factible la ampliación de la estación elevadora y/o de bombeo.
- Para la ubicación de la estación debe tenerse en cuenta cual es el trayecto más corto de la tubería de bombeo (impulsión), y la diferencia de altura que hay entre el punto de succión y el punto de bombeo.
- Para evitar inundaciones en la estación elevadora y/o de bombeo cuando esté en funcionamiento deben construirse los drenajes adecuados.
- En los casos en los que hayan pozos de succión, estos deben contar con un nivel de protección contra excesos de caudal provocados por fallas en los sistemas de control o en los sistemas de evacuación.
- La estructura debe ser protegida de inundaciones que puedan ser causadas por una creciente de un periodo de retorno de 50 años.

11.3.2 Facilidad de ingreso y salida a la estación

El diseño debe tener en cuenta los ingresos, las salidas y los espacios libres que se deben dejar para facilitar la limpieza de la estación elevadora y/o de bombeo y el traslado de los equipos electromecánicos (puertas de acceso, rampas, puentegrúas, etc), sin que sea necesario interrumpir la operación del sistema de alcantarillado.

Es recomendable que las salidas de la estación tengan un ancho mínimo de 10m para facilitar el traslado y el funcionamiento de los equipos de mantenimiento.

11.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

11.4.1 Período de diseño

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo en Barrancabermeja por estar según el RAS en un nivel de complejidad alto deben tener un período de diseño de 30 años.

11.4.2 Caudal de diseño

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo para aguas residuales deben ser tenidos en cuenta el cálculo de los caudales promedio diario, los caudales diarios máximos y mínimos y el caudal pico horario en las condiciones iniciales y finales de operación.

Para las estaciones elevadoras y/o de bombeo para aguas residuales así como las de aguas lluvias, se deben tener en cuenta los siguientes caudales:

- Caudal al final del periodo de diseño.
- Caudal mínimo al final del periodo de diseño.
- Caudal máximo al final de cada etapa del periodo de diseño.
- Caudal mínimo al final de cada etapa del periodo de diseño.
- Caudal máximo al inicio de la operación de la estación.
- Caudal máximo al final de la operación de la estación

11.4.3 Lagunas de amortización y Pondajes

Para las estaciones elevadoras y/o de bombeo que transporten aguas lluvias el diseñador debe considerar la construcción de lagunas de amortización o pondajes, teniendo en cuenta los caudales de bombeo y un análisis de costo mínimo.

11.4.5 Tubería de entrada a la estación

De la tubería de entrada a la estación deben conocerse la forma geométrica, las dimensiones, el material, la cota batea de las tubería de entrada y salida de la estación; también debe conocer la cota máxima del agua que entra a la estación y la diferencia de altura entre la succión y la descarga.

11.4.6 Materiales para la Estación

11.4.6.1 Materiales para las bombas

Deben ser tenidos en cuenta, la calidad del agua que va ser bombeada, su capacidad de corrosión, la temperatura y la conductividad, para seleccionar los materiales de las bombas incluyendo los impulsores y las carcasas.

Los materiales aprobados por Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. para la construcción de las estaciones elevadoras y/o de bombeo son:

Bombas: hierro dúctil, hierro fundido, acero inoxidable, acero al carbón y acero fundido.

Accesorios de las bombas: latón y bronce.

Los materiales que sean utilizados deben contar con la certificación de normas técnicas nacionales o internacionales aprobadas por Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.

11.4.6.2 Materiales para las tuberías y accesorios

Los materiales que pueden ser utilizados para las tuberías y accesorios de succión y de impulsión en las estaciones elevadoras y/o de bombeo son los siguientes: acero, concreto reforzado, hierro dúctil (HD), polivinilo de cloruro (PVC) RDE 13.5 y poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP).

11.4.7 Tipo de Bombas para la estación

Para la estación elevadora y/o de bombeo pueden utilizarse bombas centrifugas, helicoidales o eyectoras; las cuales se eligen dependiendo de la capacidad y la altura dinámica, que se establecen por el punto de operación después de analizar las curvas características del sistema de bombeo.

En conjunto con el tipo de bomba debe escogerse el sistema de succión e impulsión teniendo en cuenta los costos iniciales, de construcción, de operación y mantenimiento y de expansión, según lo establecido en el análisis de generación de alternativas. También deben ser tenidas en cuenta las normas técnicas NTC 1775 y la norma AWWA E 101.

Los siguientes son los tipos de bomba que pueden utilizarse:

- Bombas Centrifugas: se usan cuando la altura a la que hay que bombear el agua es elevada, ya que tiene mayor potencia y su comportamiento hidráulico se asemeja al de la estaciones de bombeo para agua potable.

- Bombas helicoidales: se usan cuando la altura a la que hay que bombear el agua es pequeña. Estas bombas se basan en el tornillo de Arquímedes y funcionan al aire libre. La altura a la que es elevada el agua es la diferencia

de nivel entre los extremos del tornillo de Arquímedes en la posición de operación.

- Bombas eyectoras: se usan generalmente cuando el caudal a bombear es bajo y se puede utilizar tanto para bombear aguas lluvias como para aguas residuales sin que se presente filtración o cribado. El impulso del agua es generado por un sensor de nivel que inyecta aire.

A continuación son descriptos los criterios que el diseño debe tener en cuenta para la elección del tipo de bomba.

- Calidad del agua a bombear.
- Ocupación de espacio de las bombas dentro de la estación elevadora y/o de bombeo.
- Forma de operación de las bombas: paralela o serie.
- Diferencia del nivel máximo y del nivel mínimo en el pozo de succión y en la descarga.
- Variación de los caudales según las condiciones de operación hidráulica de la estación elevadora y/o de bombeo.
- El tiempo de operación de las bombas y el nivel de ruido que generan.

11.4.8 Número de Bombas para la estación

Antes de elegir el número de bombas de la estación elevadora y/o de bombeo tiene que establecerse la capacidad que requiera y la energía disponible en la zona del proyecto, para que teniendo en cuenta lo anterior se evalué con el análisis de generación de alternativas.

Las estaciones elevadoras y/o bombeo deben tener una cantidad determinada de bombas en reserva dependiendo del número de bombas que mantengan en operación

Número de bombas en operación	Número de bombas en Reserva
1	1 bomba
2	1 bomba
≥ 3	1 bomba por cada 3 en operación

11.4.9 Pozo de succión

Se debe diseñar el pozo de succión con la capacidad suficiente para recibir la suma del caudal de diseño de todas las bombas de la estación elevadora y/o de bombeo buscando que la forma del pozo cumpla con las siguientes recomendaciones:

Aspectos a tener en cuenta para la profundidad del pozo:

- La cota batea de la tubería de entrada.
- La diferencia entre el nivel de aguas máxima y el nivel de aguas mínimas. Se recomienda que la diferencia de nivel sea mayor que 1m; pero si la estación de bombeo es pequeña puede ser menor, con un soporte técnico y de operación.
- La profundidad necesaria para que la bomba y los demás elementos operen bajo el agua (condición ahogada).
- El nivel de aguas máximas debe estar por debajo de la cota de batea de la tubería más baja que llega al pozo, pero se pueden presentar casos en que es conveniente dejar parcialmente sumergida la tubería de llegada para aprovechar el volumen adicional de agua.

Otros aspectos que se deben tener en cuenta para una buena operación de la estación elevadora y/o de bombeo:

- Para evitar la generación de malos olores y gases generados por la permanencia de agua y los lodos acumulados dentro del pozo debe procurarse que sea un tiempo menor a 30 minutos.
- Si la bomba en horizontal o vertical, y opera intermitentemente se recomienda hacer máximo 5 arranques por hora.
- Si la bomba es sumergible el máximo número de arranques permitido es 10 por hora.
- El ciclo de bombeo de la estación debe estar entre los 10 y 20 minutos y el ciclo de operación mínimo de 5 minutos.
- El ancho mínimo del fondo del pozo debe ser 1.5m y debe tener una pendiente mínima de 45° hacia la boca de succión.
- Si el diseñador lo considera conveniente el pozo de succión puede tener compuertas y desvíos de las aguas afluentes, por si en algún caso se requiere y es necesario aislar la estación y evacuar las aguas a una cuenca, quebrada, río, etc. Para tener un mayor control es recomendable contar con mediciones telemétricas.

- La velocidad más conveniente para la tubería de succión es de 1,0 m/s y para tubería de impulsión es de 1,5 m/s; para lo cual debe tenerse en cuenta las especificaciones técnicas de las bombas que van a operar en la estación.
- Para las tuberías de succión debe utilizarse un diámetro mínimo de 100mm (4”), y tuberías de impulsión con diámetros mayores a 0,6m se debe hacer el análisis económico de costo mínimo.
- Si la estación cuenta con bombas centrifugas, la carga mínima positiva de succión debe estar alrededor de 3 veces el diámetro de la tubería de succión.

11.4.10 Rejillas de limpieza

Las rejillas de limpieza son instaladas para evitar el ingreso de los sólidos conducidos por las aguas residuales afluentes, ya que estos pueden perjudicar el funcionamiento de las bombas. Las rejillas deben instalarse al final de los conductos afluentes al pozo de succión y sus varillas deben tener una distancia entre ellas de 5 cm. Ya que las estaciones elevadoras y/o de bombeo para Barrancabermeja son de gran tamaño por estar dentro del nivel de complejidad alto, la limpieza de las rejillas debe hacerse de forma mecanizada o automatizada y los sólidos deben disponerse en sitios autorizados por la autoridad ambiental competente.

11.4.11 Potencia de las bombas y motores

El cálculo de la potencia que requieren las bombas para su funcionamiento debe calcularse para el caudal máximo de operación y la altura dinámica media total, teniendo en cuenta su eficiencia. Se deben analizar varios escenarios de operación de las bombas y hay que establecer el comportamiento hidráulico de las curvas del sistema y las curvas características de las bombas.

La fórmula con la que se debe calcular la potencia de las bombas es la siguiente:

Ecuación 9-10 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{P = \frac{Q.\gamma.H}{\eta}}$$

P = Potencia requerida por la bomba (W).
Q = Caudal de operación (m^3/s).
γ = Peso específico del agua (N/m^3).
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.

11.4.12 Diámetros de las tuberías de impulsión y succión

Para elegir el diámetro de las tuberías de impulsión y succión de la estación elevadora y/o de bombeo, se debe hacer un análisis económico en el cual se analice el costo de la energía de bombeo versus el costo de tubería y el sistema aguas abajo de la bomba.
Otros aspecto que se debe tener en cuenta en el diseño es que los diámetros de las tuberías de succión y de impulsión no pueden ser menores que los admitidos por el equipo de bombeo, y también que el diámetro de la tubería de succión sea al menos 50mm mayor que el de la tubería de impulsión.

Si se presenta un caso en que el diámetro de la tubería de succión es mayor que el de admisión de la bomba, se debe poner una reducción excéntrica con su parte superior horizontal.

11.4.13 Velocidad en las tuberías de impulsión y succión

11.4.13.1 Tuberías de impulsión

La velocidad máxima permitida en las tuberías de impulsión no puede superar los 6 m/s. La velocidad máxima debe estar justificada por un análisis de generación de alternativas, tal como lo establecen los capítulos 4 y 5 de esta norma. La velocidad mínima en las tuberías de impulsión debe ser de 1,0 m/s.

11.4.13.2 Tuberías de succión

La velocidad máxima permitida en las tuberías de succión depende del diámetro, y se establece teniendo en cuenta el cálculo de la cabeza neta de succión positiva (NPSH). También se debe tener en cuenta lo establecido en la siguiente tabla:

Tabla B.8.2 RAS 2000 Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro

Diámetro de la tubería de succión (mm)	Velocidad máxima (m/s)
50	0,75
75	1,00
100	1,30
150	1,45
200	1,60

250	1,60
300	1,70
Mayor que 400	1,80

La velocidad mínima permitida en las tuberías de succión es 0,5 m/s.

11.4.14 Instalación de tuberías de impulsión y succión

Para las nuevas líneas de succión e impulsión, el eje de las tuberías debe localizarse y estacarse al menos cada 10 metros. Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los B.M. o a las placas oficiales de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. o de las oficinas de Planeación Municipal de Barrancabermeja.

En la etapa de diseño se deben analizar las condiciones de instalación de las tuberías, especialmente la protección con la que deben contar para mitigar el efecto que les puede causar las aguas residuales.

A continuación se mencionan los aspectos de cuidado que se deben tener en cuenta para la instalación de las tuberías en una estación elevadora y/o de bombeo de aguas residuales:

Las tuberías que pasan sobre ríos, quebradas o cañadas con riesgo de inundaciones, o caudales que puedan causar erosión al material que cubre la tubería.

Las tuberías instaladas en áreas donde se presentan inundaciones, el diseño debe evitar la posibilidad de que la tubería flote, en especial cuando por mantenimiento o emergencias no esté llena de agua. Se recomienda anclarla en los sitios que se considere necesario para evitar problemas de flotación.

En el momento de la instalación de tuberías se debe seguir lo establecido en el capítulo G.4 “Aspectos de construcción” del Título G “Aspectos Complementarios” del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000, en el que se mencionan los procedimientos de instalación y conexión de tuberías de acero, de PVC, de concreto u otras tuberías al igual que la instalación especial de accesorios como válvulas, estructuras de disipación de energía, etc.

11.5 INSTALACIONES DE LA ESTACIÓN ELEVADORA Y/O DE BOMBEO

En el diseño se debe dimensionar de manera consistente con el nivel definido y con las particularidades y necesidades específicas de cada caso. Las características del interior de la estación de bombeo deben ser plenamente justificadas.

El diseñador debe tener en cuenta lo siguiente para las instalaciones de la estación elevadora y/o de bombeo:

11.5.1 Sala de bombas

El diseñador debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones para dar un adecuado tamaño a la sala de bomba:

- La bomba debe tener un tamaño suficiente para instalar el conjunto bomba-motor y los equipos de montaje; y también para facilitar el traslado, montaje y desmontaje de los equipos y si es necesario de las unidades de bombeo.
- El tamaño de la bomba debe ser acorde con el del pozo de succión, para asegurar una correcta distribución de la obra civil y minimizar los costos.

11.5.2 Medición y control de la estación elevadora y/o de bombeo

Con el objetivo de detectar si se presentan fallas en la estación elevadora y/o de bombeo, en el diseño deben ser incluidos dispositivos de control e instrumentación con los que se pueda medir en tiempo real las condiciones de operación.

Buscando que el operador intervenga lo menos posible en las labores de medición, debe considerarse que los dispositivos instalados sean automáticos. Dentro del diseño debe estar incluida la utilización de los siguientes dispositivos de control:

- Medidor de caudal afluente.
- Medidor de niveles.
- Si la estación cuenta con tanque de succión, esta debe tener un interruptor eléctrico accionado por flotador o interruptor electrónico, y debe estar conectado con el arrancador de la bomba.
- Interruptor electrónico o eléctrico que se accione por flotador en el tanque de la descarga, y debe estar conectado con el arrancador de la bomba.
- Una alarma que se active cuando haya bajo nivel de agua en el pozo de succión.

- Un totalizador de caudales instalado en la salida de la estación elevadora y/o de bombeo.
- Si las bombas tienen una cabeza positiva de succión, debe colocarse un presostato para que regule, de forma general, todo el equipo de bombeo.
- Para controlar las presiones de entrada a la bomba debe utilizarse un manómetro o vacuómetro.
- En la prueba inicial deben usarse tacómetros en el motor de cada bomba.
- Si se ve la necesidad deben instalarse sistemas de auto lubricación en las bombas y cebado automático.
- Deben conectarse al motor relés de mínima y de máxima potencia, para proteger de los altos voltajes, de la diferencia de fases contra variaciones de tensión de una fase individual y de contacto a tierra para proteger el motor.
- Telemetría.

11.5.3 Sala de control

La estación elevadora y/o de bombeo debe contar con una sala de control para tener registro de los sistemas de medición. Esta sala debe estar equipada con tableros que indiquen las condiciones de operación de la estación; como mínimo la información de los tableros debe incluir el caudal instantáneo por unidad de bombeo, presión en las líneas de succión y descarga, nivel del agua en el pozo de succión cuando éste exista, temperatura y presión de aceite en los motores, voltaje y amperaje de las líneas de alimentación de la bomba y las revoluciones de los motores por minuto.

La sala de control debe contar con interruptores y mecanismos que permitan poner fuera de servicio cualquier elemento relacionado con el sistema de bombeo.

11.5.4 Accesos y escaleras

Si la estación elevadora y/o de bombeo tiene 2 o más pisos deben colocarse escaleras con seguridad que permitan la circulación del personal y los equipos. Si la estación es de poco espacio, en el diseño debe incluirse escaleras metálicas con barandilla, amplios peldaños y piso antideslizante.

11.5.5 Iluminación

El interior de la estación elevadora y/o de bombeo debe estar completamente iluminado por luz natural y/o artificial, evitando la utilización de aparatos que provoquen al personal ilusiones ópticas.

11.5.6 Señalización

La señalización de la estación elevadora y/o de bombeo tiene que ser de fácil visualización, donde indique las 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 y para buscando prevenir accidentes. La señalización de la prevención de accidentes debe cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 1461 y las señales contra incendio deben seguir lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas NTC 1931 y NTC 1867.

11.5.7 Ventilación

El diseñador de la estación elevadora y/o de bombeo debe contemplar la ventilación artificial forzada en los sitios que se encuentren por debajo del nivel del terreno (todas las salas, compartimientos, pozos y otros recintos cerrados). Los controles de ventilación forzada deben tener la opción de ser accionados manualmente, o contar con sensores que los activen cuando detecten concentraciones de gases en el aire.

11.5.8 Protección contra incendios

Deben colocarse extintores contra incendio en los sitios de fácil acceso donde puedan presentarse incendios, cumpliendo con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1483.

11.5.9 Equipos de movilización

La estación elevadora y/o de bombeo debe contar con elementos que permitan el transporte y la movilización de maquinaria y equipo que tengan la capacidad de mover el elemento de mayor peso de la estación. De igual modo en el diseño deben proveerse todos los ingresos a la casa de bombas, de modo que faciliten un adecuado manejo de los equipos para los mantenimientos y el retiro o reposición de los elementos de la estación.
El trayecto de los equipos debe ser estudiado con el objetivo de permitir y facilitar en cualquier momento el retiro, movilización y reposición de cualquier elemento de la estación.

11.5.10 Drenaje de pisos

Dentro del diseño de la estación elevadora y/o de bombeo debe ser incluido el análisis del drenaje de los pisos de la estación, y debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Se deben incluir en el diseño uno o dos pozos de drenaje para conducir el agua proveniente de las fugas o lavado, dando una pendiente muy suave al piso de la estación de bombas.
- Si los pozos de drenaje no pueden ser evacuados por gravedad, se deben instalar bombas con sensores que detecten el nivel del agua en los pozos de drenaje y se accionen automáticamente.

11.5.11 Aislamiento acústico

Para no generar incomodidad con el ruido a los vecinos de la estación elevadora y/o de bombeo, el diseño debe contemplar un sistema de aislamiento acústico. También debe diseñarse un sistema de aislamiento acústico para la sala de operación y control con la sala de bombas.

11.5.12 Instalaciones hidráulicas y sanitarias

En el interior de la estación elevadora y/o de bombeo se debe tener a disposición un tanque de agua potable con la capacidad suficiente para el consumo del personal; así mismo la estación debe contar con un sistema sanitario que conduzca las aguas residuales hasta el sistema de aguas residuales o hasta un punto permitido por la autoridad ambiental competente.

11.6 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para el diseño de una estación elevadora y/o de bombeo, se cuenta con diferentes alternativas de combinación de tipo de bomba, potencia de bomba, material y diámetro de tubería de 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 lo cual, en el diseño de una estación elevadora y/o de bombeo se debe buscar la alternativa óptima económica donde estén incluidos 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 y que cumpla con todas las restricciones hidráulicas.

Los materiales utilizados en el diseño deben cumplir con el numeral 11.4.6.2 (materiales para las tuberías) y el numeral 11.4.6.1 (materiales para las bombas) y para el cálculo del diámetro de cada alternativa se debe seguir lo establecido en el numeral 11.4.12 de la presente norma.

Las alternativas deben ser evaluadas sobre los criterios hidráulicos y financieros, que permita escoger la más eficiente y de menor costo de construcción, operación y mantenimiento.

Se puede utilizar un programa comercial de análisis de redes para calcular y elegir el diseño óptimo económico, que debe cumplir con las restricciones hidráulicas. Los resultados de este programa debe incluir el diseño optimizado mediante técnicas de inteligencia artificial, tales como algoritmos genéticos, lógica difusa y sistemas expertos, etc. También deben ser incluidos los costos de materiales, costos de instalación y costos de operación y mantenimiento a lo largo del período de diseño del proyecto.

11.7 DISEÑO DE LAS ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO

11.7.1 Cálculo hidráulico de tuberías simples

Para hacer el cálculo hidráulico del diseño de las líneas de succión e impulsión se debe hacer un estudio hidráulico del flujo a través de las tuberías para determinar las presiones a lo largo de estas. Las presiones manométricas nunca pueden ser negativas.

A continuación se mencionan otros aspectos a tener en cuenta:

- Para hacer el cálculo hidráulico y determinación de las pérdidas por fricción en las tuberías a presión se debe utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach junto con la ecuación de Colebrook-White. Otra ecuación que puede utilizarse es la de Hazen-Williams con la debida consideración de los rangos de validez y exactitud, especialmente en lo referente a los límites de diámetros y de número de Reynolds. En el diseño debe mencionarse claramente las suposiciones hechas para calcular el factor de fricción.

- Las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook–White puede utilizarse para todos los tipos de flujo turbulento, desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso.

- Para calcular el flujo en las tuberías se tiene que considerar el efecto producido por los accesorios colocados en las líneas de succión e impulsión de la estación y que produzcan pérdidas de energías adicionales, dentro de los que se encuentran las válvulas, los codos, las reducciones, las ampliaciones, etc. Los cálculos de pérdidas producidas por accesorios no pueden calcularse utilizando la metodología de longitud equivalente.

- Para calcular las pérdidas menores se debe utilizar el coeficiente de pérdidas menores multiplicado por la altura de velocidad en el sitio donde se localiza el accesorio.

11.7.2 Cálculo de las pérdidas de energía por fricción

Si las tuberías son de diámetro continuo, el cálculo de las pérdidas de energía por fricción se debe hacer usando la ecuación de Darcy – Weisbach mostrada a continuación:

Ecuación 9-1 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{hf = f * \frac{L * v^2}{D * 2 * g}}$$

f = factor de fricción.
L = longitud de la tubería (m).
D = diámetro de la tubería (m).
v = velocidad del fluido (m/s).
g = aceleración de la gravedad (m/s^2).

La anterior ecuación conforma la ecuación universal de resistencia fluida para conductos a presión, para la cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. calculo del coeficiente de fricción de Darcy – Weisbach, f, para tuberías de sección circular:

- Flujo Laminar (Re menor que 2000)

Ecuación 9-2 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{f = \frac{64}{Re}}$$

Re = Número de Reynolds.

- Flujo Turbulento (Re mayor que 4000)

Esta ecuación puede utilizarse desde flujo hidráulicamente liso a flujo hidráulicamente rugoso.

Ecuación 9-3 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * log_{10} * \left(\frac{K_s}{3.7 * D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

k_s = Rugosidad absoluta de la tubería (m).
D = Diámetro de la tubería (m).

Con la anterior ecuación se debe utilizar un proceso iterativo para calcular el factor de fricción tal como el Método de iteración de un punto o el Método de Newton-Raphson.

2. Calculo del número de Reynolds (Re):

Ecuación 9-4 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

ρ = Densidad del fluido (kg/m3)
μ = Viscosidad del fluido (Pa*s)

En el diseño se debe evitar sin importar las condiciones de operación, que la operación de la línea de impulsión y/o succión para flujos en la zona de transición sea (2000 < Re < 4000).

3. En la siguiente tabla se dan los valores de la densidad y la viscosidad absoluta del agua en función de la temperatura media de ésta, para que sean utilizados durante el diseño de las líneas de succión y/o impulsión.

TABLA B.6.9 RAS 2000 - Densidad y Viscosidad del agua según la temperatura

Temperatura (°C)	Densidad, ρ (Kg/m3)	Viscosidad, μ (x10-3Pa*s)
0	999,9	1,792
5	1000,0	1,519
10	999,7	1,308
15	999,1	1,140
20	982,2	1,005
30	995,7	0,801
40	992,2	0,656
50	988,1	0,549

4. La rugosidad absoluta (k_s) de las tuberías debe evaluarse según el tipo material y tomando como referencia la siguiente tabla:

Tabla B.6.10 RAS 2000 - Valores de rugosidad absoluta

Material	Rugosidad absoluta k_s (mm)
Acero comercial	0,45
CCP	0,12
Hierro dúctil	0,25
GRP	0,03
Polietileno	0,007
PVC	0,0015

Si la longitud de la tubería es mayor a 1000m, el valor de rugosidad absoluta debe ser multiplicado por un factor de 2.

5. Si las tuberías metálicas no están pintadas en su interior con materiales anticorrosivos y se lleva una programación de limpieza, el diseño debe incluir un factor de seguridad sobre la rugosidad absoluta de la tubería, para disminuir los efectos hidráulicos causados por el deterioro de la pared interna al final del período de diseño. Este factor de seguridad en ningún caso puede ser menor que 3,0.

11.7.3 Cálculo de las pérdidas menores

Para calcular las perdidas menores que son producidas por los accesorios colocados en las líneas de succión e impulsión, tales como las válvulas, los codos, las tees, las reducciones, las ampliaciones y otros accesorios; se debe utilizar la siguiente ecuación:

Ecuación 9-5 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\boldsymbol{H = k_m * \frac{V^2}{2 * g}}$$

h_m = Pérdidas menores en la cámara de inspección y/o conexión (m).
K_m = Coeficiente de pérdidas menores.
V = Velocidad en el conducto de salida (m/s).

En el diseño se deben justificar los valores de cada coeficiente de pérdidas menores de los accesorios de la línea de succión y/o impulsión, basándose en la bibliografía adoptada por el diseñador. El diseñador debe utilizar los coeficientes

de perdidas menores para accesorios comunes expuestos en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, titulo B del RAS 2000.

Tabla B.6.11 Titulo B RAS 2000 - Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes

Accesorio	K_m
Válvula de globo, completamente abierta	10,0
Válvula de mariposa, completamente abierta	5,0
Válvula de cheque, completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Codo de radio corto	0,9
Codo de radio medio	0,8
Codo de gran radio	0,6
Codo de 45°	0,4
Tee, en sentido recto	0,3
Tee, a través de la salida lateral	1,8
Unión	0,3
Yee de 45°, en sentido recto	0,3
Yee de 45°, salida lateral	0,8
Entrada recta a tope	0,5
Entrada con boca acampanada	0,1
Entrada con tubo entrante	0,9
Salida	1,0

Para las pérdidas menores generadas por las uniones entre los tubos de la línea de succión y/o impulsión, se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. En las tuberías a presión, la pérdida de energía que presenten salientes en las juntas de los tubos en el perímetro interior de la sección, es la suma de la pérdida de energía debida a la fricción que se calcula como si no existieran las juntas indicadas y las pérdidas menores generadas por la presencia de juntas, las cuales deben calcularse a través de la siguiente ecuación:

Ecuación B.6.10 Titulo B RAS 2000

$$\mathbf{hs = n_j * K_m * \left[\frac{V^2}{2 * g}\right]}$$

Si $\mathbf{l_j}$ / D es menor < que 30

Ecuación B.6.11 Titulo B RAS 2000

$$\mathbf{K_m = K_0 * K_1}$$

Pero si $\mathbf{l_j}$ / D es mayor > 30

Ecuación B.6.12 Titulo B RAS 2000

$$K_m = K_1$$

l_j = distancia en metros que hay entre las juntas.
n_j= número de juntas.
D = diámetro interno real de la tubería.
K_0 =coeficiente de perdidas menores inicial.
K_1= coeficiente de consumo máximo diario.
En las siguientes tablas se muestras los valores que se les debe dar a K_0 y K_1 dependiendo de la distancia que haya entre las juntas:

Tabla B.6.12 Titulo B RAS 2000 Valores de K_0

lj / D	4	8	12	16	20	24	30
K_0	0,3	0,45	0,58	0,68	0,78	0,87	1,0

Tabla B.6.13 Titulo B RAS 2000 Valores de K_0

d / D	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	1,0
K_1	0,015	0,035	0,06	0,09	0,13	0,17	0,21	0,26	0,32	0,38

2. Las pérdidas de energía que se presentan en las uniones de tipo campana y espigo, y a uniones con anillo de caucho similar pueden ser despreciadas ya que no presentan salientes hacia el interior de la tubería, siempre y cuando la longitud de la tubería sea por al menos de 500m.

11.7.4 Cálculo hidráulico con la Ecuación de Hazen-Williams

La ecuación de Hazen-Williams puede utilizarse para calcular el diámetro de las tuberías de la succión y la impulsión, siempre y cuando cumpla con las siguientes condiciones:

- El diámetro no puede ser menor de 100 milímetros.
- La velocidad no puede ser mayor que 3 m/s.
- El flujo no puede ser laminar

Ecuación 9-9 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$hf = 10{,}69 * L * Q^{1{,}852} * C^{-1.852} * D^{-4{,}867}$$

L = Longitud de la tubería (m).
h_f = Pérdidas por fricción en la tubería (m).
Q = Caudal (m^3/s).

C = Coeficiente de Hazen-Williams.
D = Diámetro de la tubería (m).

Para utilizar la ecuación de Hazen-Williams deben tenerse en cuenta los siguientes valores:

Tabla Valores del Coeficiente CHW de Hazen-Williams
(Tomado del libro "Hidráulica de Tuberías" – Juan G. Saldarriaga)

Material	Condición	Diámetro	Coeficiente H-W
Acero Soldado	Constante	d ≥ 12	120
		8 ≤ d ≤ 10	119
		4 ≤ d ≤ 6	118
Acero Bridado	Constante	d ≥ 24	113
		12 ≤ d ≤ 20	111
		4 ≤ 10	107
Concreto	Formaleta de acero	Todos	140
	Formaleta de madera	Todos	120
	Centrifugado	Todos	135
PVC	Constante	Todos	150
Hierro dúctil	Con revestimiento		140
	interior de cemento		150
Polietileno			150
GRP			150

11.7.5 Bombas centrífugas y eyectoras

A continuación se presentan los aspectos que el diseñador debe tener en cuenta cuando el tipo de bombas que se utilicen sean centrífugas y/o eyectoras.

11.7.5.1 Potencia

La potencia requerida por la bomba debe tener suficiente para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación.

La fórmula para calcular la potencia es la siguiente:

Ecuación B.8.1 Titulo B RAS 2000

$$\boldsymbol{P = \frac{Q * \gamma * H}{\eta}}$$

P = Potencia requerida por la bomba (W).
Q = Caudal de operación (m^3/s).
γ = Peso específico del agua (N/m^3).
H = Altura total de bombeo, incluida la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores presentes en las tuberías de impulsión (m).
η = Eficiencia del bombeo.

11.7.5.2 Cabeza neta de succión positiva (NPSH)

La cabeza neta de succión positiva disponible se debe calcular de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación B.8.2 Titulo B RAS 2000

$$\boldsymbol{NPSH\ disp = \frac{P_{atm}}{\rho * g} + H_{es} - H_f - \frac{P_v}{\rho * g}}$$

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 (Kg/m^3).
g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

La altura estática de succión es la diferencia de altura entre el plano de referencia de la NPSH y el mínimo nivel de agua en el pozo de succión, de acuerdo con las normas ISO2548 o DIN 1994 4 o cualquier otra norma internacional equivalente.

La cabeza neta de succión positiva referenciada por el fabricante tiene que ser al menos un 20% menor que el valor disponible en la instalación para las condiciones más adversas de operación, para evitar que se presenten fallas de operación de la estación elevadora y/o de bombeo.

En el diseño se debe verificar que para todos los caudales previstos no se presente cavitación.

11.7.5.3 Ecuaciones de las bombas

La empresa fabricante de los equipos debe suministrar la ecuación de la bomba; pero si llegado el caso el fabricante no tiene la ecuación como mínimo debe suministrar la curva de operación de la bomba, para que el diseñador pueda hacer un análisis de regresión numérica y pueda obtener la ecuación.

La ecuación debe tener la siguiente forma:

Ecuación 9-12 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$H = AQ^2 + BQ + C$$

H = la altura total de bombeo, incluidas la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en la impulsión. (m)
Q = el caudal de bombeo (m3/s).
A, B, C = Coeficientes para la ecuación.

11.7.5.4 Ecuación del sistema

Si el bombeo solo incluye una tubería de impulsión, la ecuación del sistema se debe obtener utilizando la de Darcy-Weisbach en conjunto con la de Colebrook-White. Cuando se usen estas ecuaciones se debe utilizar la metodología del numeral 3.3 de esta norma, y los coeficientes de rugosidad absoluta. La otra ecuación que puede utilizarse es la de Hazen-Williams según lo establecido en el numeral 11.7.4.

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la curva del sistema, ya que se relaciona el caudal de la tubería de descarga con la altura dinámica total.

Ecuación 9-13 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$H = H_T + \sum h_f + \sum h_m$$

H = altura dinámica total, es la diferencia de altura entre la entrada y la salida de la bomba (m).
H_T = diferencia topográfica máxima entre el nivel mínimo nivel del agua en el punto de succión aguas arriba y el máximo nivel del agua en el punto de descarga aguas abajo (m).

h_f = pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión y succión (m).
h_m = pérdidas menores por los accesorios en las tuberías de succión e impulsión (m).

Si se presenta el caso en que aguas abajo de la bomba este ubicada una red de alcantarillado, el diseñador debe utilizar un programa de análisis hidráulico para obtener la ecuación del sistema para las diferentes condiciones de operación del bombeo y operación de la red de alcantarillado. Dentro del análisis deben estar incluidos los períodos caudal máximo de operación y de caudal mínimo en horas nocturnas.

11.7.5.5 Diámetros de las tuberías de impulsión y succión

La siguiente ecuación se usa para predefinir el diámetro más económico que se puede usar para las tuberías de succión e impulsión de una estación elevadora y/o de bombeo.

Ecuación 9-14 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\mathbf{D = K * (X * Q)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\mathbf{X = (t/24)^{\frac{1}{2}}}$$

t = Número de horas de bombeo por día (h/día).
Q = Caudal de bombeo (m3/s).
D = Diámetro interior real de la tubería (m).
K = Coeficiente que varía entre 1.2 y 1.6.

El coeficiente K está en función del costo de la tubería y el costo del kilovatio hora de energía eléctrica. Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. debe elegir para cada caso que valor se le va a dar a este coeficiente que debe ser utilizado para un prediseño particular. Para determinar cuál es el diámetro definitivo de las tuberías de impulsión en una estación elevadora y/o de bombeo, se debe hacer un análisis económico por medio de un programa para analizar la relación entre el costo de energía de bombeo y el costo de la tubería y el sistema aguas debajo de la bomba.

11.7.6 Bombas helicoidales

El diseño de las bombas helicoidales debe tener en cuenta los siguientes conceptos y la gráfica:

- El tornillo de Arquímedes es un tubo hueco que funciona como eje, al cual se le unen una o más hojas espirales y gira sobre una caja, por lo que se eleva el agua contenida entre las espirales, el eje y la caja.
- Punto de Llenado = es el nivel de entrada de agua en el que se alcanza la máxima capacidad, mejor eficiencia y el máximo consumo de potencia. A mayor nivel, la misma capacidad pero menor potencia y eficiencia.
- Punto de Contacto Inferior = es el nivel del agua a la entrada, por la que tendría que suspenderse la descarga.
- Punto de Descarga = es el máximo nivel en el que la bomba eleva agua sin perder eficiencia.
- Punto de Contacto Superior = es el nivel de salida y de contacto entre el tornillo, la caja y el caudal de descarga.

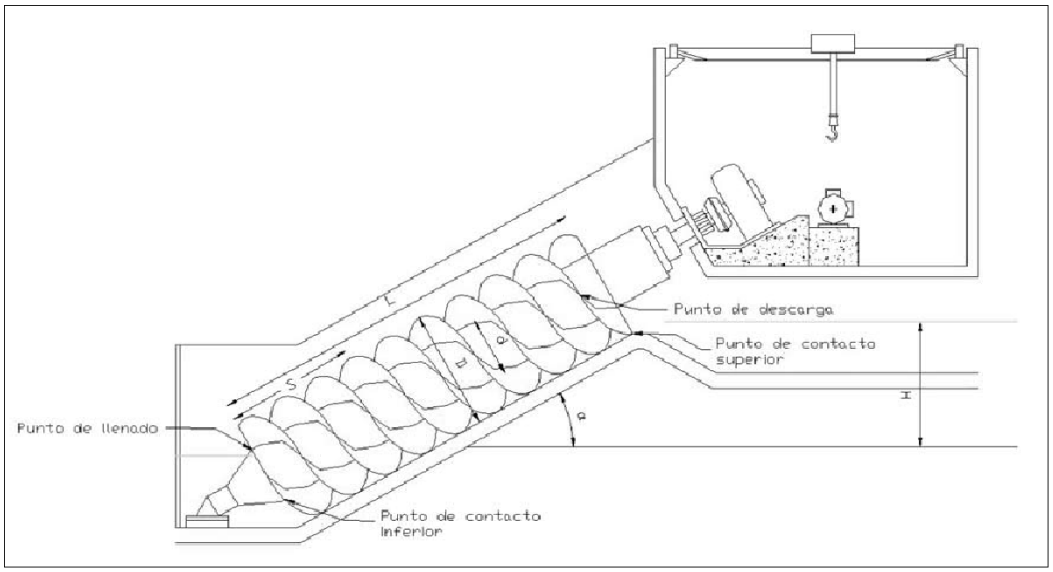


Figura 9-1 Esquema bomba de tornillo de Arquímedes - Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

α = Ángulo de instalación (º).
D = Diámetro de tornillo (m).
d = Diámetro del eje (m).
S = Paso del tornillo (m).
L = Longitud de la espiral (m).
H = Distancia vertical entre punto de descarga y punto de llenado (m).

11.7.6.1 Diámetro del tornillo

Generalmente los diámetros de tornillos están en un rango entre 0.3 y 3.0 m, con una capacidad de descarga que está entre 0.01 y 3.2 m³/s. Para tomar una decisión definitiva sobre el diámetro, el diseñador debe consultar las características específicas de cada tornillo según el fabricante.

11.7.6.2 Diámetro del eje

Se debe tener en cuenta relación, r, entre el diámetro del eje, d, y el diámetro del tornillo, D, y buscar que generen el mínimo consumo de material y optimicen la capacidad de descarga de la bomba. El rango aceptable de esta relación es de 0.4 a 0.6. En algunos casos especiales el diseñador puede utilizar un diámetro de eje mayor con el fin de alcanzar una altura excesiva de bombeo; vale aclarar que utilizar el diámetro de eje mayor afecta la capacidad de la máquina.

11.7.6.3 Deflexión máxima del tornillo

La deflexión máxima del tornillo Δ_{tmax}, es causada por el peso de la bomba y del agua. Esta deflexión 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.
De igual forma es recomendable que la deflexión del tornillo sea menor a la deflexión máxima, calculada según la siguiente ecuación:

Ecuación 9-15 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$\Delta_{tmax} = \frac{L_{apoyos}}{20}$$

Δ_{tmax} = Deflexión máxima del tornillo (m).
L_{apoyos} = Distancia entre apoyos del tornillo (m).

Es recomendable que la distancia entre el borde de las espirales y la superficie de la caja se calcule por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 9-16 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM

$$S_{ep} = 0.00449 * \sqrt{D}$$

S_{ep}= es la distancia que hay entre borde de espirales y superficie de la caja (m).
D = es el diámetro del tornillo (m).

11.7.6.4 Número de hojas o espirales

Para tener una mayor capacidad de descarga del tornillo se debe aumentar el número de hojas o espirales ya que cada hoja la aumenta hasta en un 20% la descarga del tornillo.

11.7.6.5 Ángulo de inclinación

Si se quiere tener una mayor capacidad de descarga el ángulo de inclinación debe ser menor, ya que por cada grado de inclinación que se aumente la capacidad de bombeo se ve reducida en un 3%. Generalmente el ángulo de inclinación del tornillo esta entre 20º y 40º.

11.7.6.6 Nivel en el canal de entrada

Debe ser tenido en cuenta que al variar el nivel del agua en el canal de entrada la capacidad de la bomba puede variar de la siguiente forma:

- Cero (0), cuando el nivel corresponde al punto de contacto inferior.
- valor máximo, cuando el nivel del agua alcanza el punto de llenado.

Para las bombas de tornillo los mejores valores de eficiencia varían entre el 65% y el 75% dependiendo del diámetro de las bombas, pues a mayor diámetro mayor es la eficiencia máxima.

11.7.6.7 Potencia

La potencia para las bombas debe ser suficiente para alcanzar la capacidad del sistema cuando se encuentre en caudal máximo de operación, pero se debe tener en cuenta que la altura de bombeo H, en este caso es igual a la distancia vertical que hay entre el nivel del agua en el canal de entrada y el punto de descarga.

Ecuación B.8.1 Titulo B RAS 2000

$$\boldsymbol{P = \frac{Q * \gamma * H}{\eta}}$$

P = Potencia requerida por la bomba (W).
Q = Caudal de operación (m^3/s).
γ= Peso específico del agua (N/m^3).
H = Distancia vertical que hay entre el nivel del agua en el canal de entrada y el punto de descarga. (m).
η = Eficiencia del bombeo.

11.7.7 Corrosión en tuberías

Para evitar que se presente corrosión en las tuberías de impulsión y descarga conformadas por materiales metálicos, no se debe permitir que alguna parte metálica del sistema esté en contacto directo con el agua.

Para las tuberías de acero se debe utilizar recubrimiento interno y externo en mortero, según lo indicado en el numeral 11.7.8. Si las tuberías tienen diámetros inferiores a 300 mm (12") se deben utilizar pinturas epóxicas en su interior. Todas las medidas que se tomen para evitar la corrosión interna y/o externa en las tuberías de impulsión y/o succión deben cumplir con lo estipulado en las normas AWWA, DIN e ISO.

La mejor opción si es viable económicamente es que sean utilizadas tuberías de acero inoxidable.

11.7.8 Recubrimientos y protección de tuberías

11.7.8.1 Recubrimientos externos

En el diseño de las tuberías de las estaciones elevadoras y/o de bombeo deben estar incluidos los análisis sobre el recubrimiento externo y la protección de las tuberías.

El revestimiento de las tuberías puede hacerse con polietileno o polipropileno, resina epóxica, mortero, etc. Para las tuberías de acero es recomendable que los recubrimientos externos se hagan con mortero. Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. debe aprobar los recubrimientos externos del diseño de la estación elevadora y/o de bombeo.
En la siguiente tabla se describen algunos recubrimientos externos que se deben hacer según el tipo de tubería y la norma correspondiente:

Tabla 9-9 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Normas para recubrimientos externos en tuberías

NORMA	NOMBRE
AWWA Manual M41	Ductile-Iron Pipe and Fittings
DIN 30675-2	External corrosion protection of buried pipes; corrosion protection systems for ductile iron pipes (FOREIGN STANDARD)

NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos
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.

11.7.8.2 Recubrimientos internos

En el diseño de las tuberías de las estaciones elevadoras y/o de bombeo deben estar incluidos los análisis sobre el recubrimiento interno y la protección de las tuberías. Para las tuberías de acero es recomendable que los recubrimientos internos se hagan con mortero. Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. debe aprobar los recubrimientos internos del diseño de la estación elevadora y/o de bombeo.

En la siguiente tabla se describen algunos recubrimientos internos que se deben hacer según el tipo de tubería y la norma correspondiente:

Tabla 9-10 Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM - Normas para recubrimientos internos en tuberías

NORMA	NOMBRE
AWWA C104	Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water.
AWWA C105	Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems.
AWWA C116	Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings Int. & Ext. Surf. Ductile- Iron/Gray-Iron Fittings.

AWWA D104	Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks.
AWWA C550	Protective Epoxy Interior Coatings for Valves and Hydrants.
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.
NTC 747	Tubos de presión tipo cilindro de acero con recubrimiento de hormigón, mortero o ambos.

11.7.9 Golpe de ariete en estaciones elevadoras y/o de bombeo

El diseñador de la estación elevadora y/o de bombeo debe tener en cuenta el efecto de golpe de ariete provocado por las interrupciones de la energía eléctrica y la consecuente interrupción del flujo de agua.

Siempre deben calcularse la sobreelevación de presiones, las subpresiones y las velocidades de la onda, como se indica en el numeral B.6.4.11 del Título B “Sistemas de Acueducto” del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000. El análisis se debe hacer al caudal máximo para todas las formas de operación de la estación elevadora y/o de bombeo. Para los cálculos se puede incluir el método de las características o métodos de elementos finitos donde el agua se considere como un medio elástico.
Todas las estaciones elevadoras y/o de bombeo deben tener a su disposición los mecanismos y accesorios para disminuir el efecto del golpe de ariete, tales como válvulas reductoras de presión, aliviaderos, volantes de inercia, tanques hidroneumáticos y/o almenaras; pero no se pueden utilizar las válvulas anticipadoras o de cheque.

El programa en el cual se realicen los cálculos del golpe de ariete debe hacer la simulación de los mecanismos de control de la sobreelevación de presiones y de las subpresiones. Es recomendable que las sobrepresiones máximas no excedan más del 30% de la altura dinámica total y en lo posible evitar las presiones negativas en las tuberías

11.7.10 Eficiencia en el bombeo

Uno de los objetivos del diseño es asegurar que sin importar las posibles condiciones de operación de las bombas, éstas sigan trabajando en o cerca de su punto de máxima eficiencia, tomando como referencia la curva de eficiencia suministrada por el fabricante del equipo. El punto de operación del sistema de bombeo es el cruce de las curvas de las bombas y del sistema, sin importar que la bomba esté operando en serie o en paralelo.

Para obtener el punto de operación se debe tener a disposición las alturas piezométricas, sobre las cuales se estima la altura dinámica total y el caudal de bombeo.

Con el objetivo de evitar las curvas de doble pendiente en el diseño de las estaciones elevadoras y/o de bombeo se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Estando en la zona de doble operatividad, se debe tener en cuenta que a cualquier altura (H), le corresponden dos valores de caudal (Q).

- Estando por debajo o por fuera de la zona de doble operatividad, a cualquier altura (H) de la curva, le corresponde solo un caudal (Q) y la bomba trabaja con su mayor eficiencia.

- Si se tienen dos bombas que trabajan 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.

- La zona de máxima eficiencia de bombeo siempre se encuentra por fuera de la zona de la doble operatividad.

11.7.11 Válvulas y accesorios para las estaciones elevadoras y/o de bombeo

11.7.11.1 Válvulas

Las válvulas de corte y cierre de las estaciones elevadoras y/o de bombeo deben estar ubicadas en sitios de fácil acceso para el operador y deben tener indicaciones claras de si están abiertas o cerradas y de este modo evitar posibles inconvenientes.

El accionamiento de las válvulas puede ser manual si la fuerza tangencial que requiere es menor o igual a 200 Newton, pero si no se cumple con lo anterior el accionamiento debe ser mecanizado. Las presiones cuando la estación entre en operación deben ser compatibles con las presiones máximas previstas.

Para facilitar la operación las válvulas que tengan un diámetro mayor a 300 mm (12”) deben contar con actuadores electromecánicos.

Si dentro del diseño está incluido utilizar bombas en pozos secos que operen por debajo del nivel de succión, estos deben tener una válvula de corte o cierre en la línea de succión.

Si la tubería de succión no trabaja con carga positiva se debe instalar una válvula de pie en la parte inferior para evitar su vaciado, y debe tenerse en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 1762; de lo contrario podrá apoyarse en las normas técnicas NTC 1991 y NTC 2011.

11.7.11.2 Accesorios

Todos los accesorios deben ser bridados y la instalación debe hacerse en forma tal que resulte fácil su inspección y mantenimiento y que permitan un adecuado montaje y desmontaje.

11.7.12 Instalaciones eléctricas en las estaciones elevadoras y/o de bombeo

En el diseño de las instalaciones eléctricas de la estación elevadora y/o de bombeo se debe cumplir con las siguientes condiciones para asegurar el buen funcionamiento de la acometida de alta tensión, la acometida de baja tensión, la subestación transformadora, el sistema de potencia y el sistema de alumbrado.

11.7.12.1 Acometida de alta tensión

La acometida de alta tensión debe hacerse al mismo voltaje del sistema primario de distribución desde la red de distribución.

11.7.12.2 Acometida de baja tensión

Para el diseño de la acometida de baja tensión se debe cumplir la norma técnica colombina NTC 105 y además se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- El diseño del conducto debe soportar un 25% de sobrecarga en cobre, con el diámetro apropiado y considerando que un futuro sea posible una ampliación de la estación elevadora y/o de bombeo.
- El aislamiento debe ser de tipo TW o su equivalente y no se deben hacer empalmes en su trayectoria.
- Las acometidas deben tener varios cables por fase con el objeto de facilitar la construcción, cuando el diámetro de la fase del conductor de la acometida común sea mayor que 2/0.
- Para proteger las acometidas apropiadamente, debe hacerse con tubería eléctrica de PVC (embebida o enterrada) o Conduit metálica galvanizada (expuesta), de acuerdo con lo que se requiera por número de conductos, calibre, disipación de calor, etc., para los diámetros existentes en el mercado.
- Si para el diseño se requiere un diámetro mayor que 100 mm, se debe considerar la utilización de condulines en concreto o un canal en concreto (cárcamo) con tapas en lámina corrugada (alfajor) o similar.
- Los canales de concreto deben contar con un apropiado desagüe.
- Para las tuberías que se encuentren separadas por una distancia menor a 20m, se deben utilizar cajas de empalme.
- Las tuberías o canales protectores deben estar enterradas como mínimo a una profundidad de 0.65 m del nivel del piso.
- Cuando se requiera un empalme entre tubería Conduit metálica y PVC, se debe hacer a través de una caja de empalme por unión o condulete, utilizando atadores roscados en la tubería de PVC.

11.7.12.3 Subestación transformadora

Para el diseño de la subestación transformadora se debe cumplir la norma técnica colombina NTC 3654 y además se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Si es posible se deben diseñar subestaciones exteriores.
- Si la subestaciones es de menos de 75 kW el transformador deberá instalarse sobre postes de concreto.
- Si la subestación es de 75 kW o mayor, el transformador deberá instalarse superficialmente sobre una base de concreto provista de rieles para permitir su fácil instalación y mantenimiento. El diseñador debe incluir la construcción de una cerca de malla protectora que debe tener una puerta lo suficientemente amplia para entrar al transformador.
- La protección eléctrica del circuito primario contra corto circuito se debe hacer con fusibles en caja primaria en el último poste o en el seccionador.
- Se deben colocar pararrayos en las tres líneas con conexiones a tierra para proteger el circuito primario de la estación contra sobrevoltaje.

- Se debe colocar un interruptor automático para proteger el circuito secundario contra cortos circuitos.

11.7.12.4 Sistema de potencia del circuito de los motores

Para el diseño de los circuitos de los motores se debe cumplir la norma técnica colombina NTC 277 y además se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Accionamiento de las bombas: lo más conveniente es encender las bombas con motores eléctricos directamente acoplados a ellas.
- Motores de emergencia: si no está garantizado al 100% el servicio de energía eléctrica, adicionalmente se debe disponer de motores Diesel o un generador eléctrico.
- Características de los motores: los motores eléctricos que accionan las bombas deben tener una velocidad 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.
- Arrancadores: si el motor tiene una potencia menor que 7.5 KW se deben utilizar arrancadores de pleno voltaje o arrancadores compensados. Para los motores con potencia de más 7.5 KW, el diseño debe incluir el arrancador que se ajuste al par solicitado por el montaje realizado (directo) y teniendo en cuenta la secuencia de arranque. Para ahorrar en el consumo de energía eléctrica es preferible utilizar arrancadores electrónicos.
- Voltaje de los circuitos: el volteje necesario depende de la potencia de los motores de la estación elevadora y/o de bombeo; para potencias entre 4 y 250 KW se recomienda utilizar un voltaje entre 200 y 500 Vac trifásico; y si el motor tiene una potencia mayor a 250 KW se recomienda utilizar un voltaje de 1000 Vac trifásico.
- Caída total de tensión: la caída total de tensión desde la acometida hasta cualquier motor, debe ser menor del 5%.
- Protección de los circuitos eléctricos: dependiendo del esquema de arrancador el diseño debe incluir el uso de interruptores automáticos que tengan protección termo-magnética, protección contra sobrecargas y contra cortos circuitos.
- Conductores y aislamiento: los conductores deben ser de cobre y tener aislamiento tipo TW para 600 voltios. En el diseño se deben tener en cuenta los posibles cambios de potencia de los motores en el futuro, para posibles ampliaciones de la estación elevadora y/o de bombeo.
- Canalización de los conductores: si el diámetro requerido no es mayor a 100 mm, la canalización debe hacerse en tubería Conduit galvanizada o en PVC; pero para un diámetro mayor deben utilizarse varias tuberías de 50 mm (2”) o

un canal de cables para hacer la derivación, en coraza flexible, a cada uno de los motores.

11.7.12.5 Sistema de alumbrado de la estación elevadora y/o de bombeo

El diseño del sistema del alumbrado de la estación elevadora y/o de bombeo, debe seguir las recomendaciones establecidas por el CIDET, el IES u otras instituciones equivalentes, y además se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Los circuitos del sistema de alumbrado deben estar protegidos con interruptores automáticos con protección térmica y magnética.
- La potencia inicial para un circuito de 15 amperios no debe exceder 1kW.
- La mayor caída de tensión permitida para un circuito derivado es del 3%.
- En ningún caso puede utilizarse un conductor menor que el número 12.
- Si en el sistema de fuerza hay un voltaje de línea de 200 voltios, la red de alumbrado puede derivarse del neutro y de una de las fases, y así obtener un voltaje de 127 voltios.
- Si el sistema utiliza un voltaje de 440 voltios la red de alumbrado debe contar con un transformador de 440/208/120 voltios.

11.7.13 Protocolos de prueba del diseño

El diseñador debe definir las pruebas que se deben llevar a cabo cuando se termine la construcción de la estación elevadora y/o de bombeo y la instalación de los equipos eléctricos y mecánicos. Se deben establecer los puntos en los que se realiza la medición de caudal, de velocidades, de niveles y presiones, los equipos de toma de mediciones, su precisión y el nivel de frecuencia de toma de datos. Los resultados de las pruebas tomadas en campo deben ser comparados con los arrojados por el proceso de modelación hidráulica de la estación elevadora y/o de bombeo.

Dentro de los protocolos de prueba deben incluirse condiciones hidráulicas con diferentes aperturas de válvula, operación de bombas en forma individual y en grupo, y para los diferentes niveles de agua en la tubería afluente de la estación.

11.7.14 Uso de tecnologías de información para el diseño de estaciones elevadoras y/o de bombeo

Se debe utilizar un programa de modelación hidráulica para diseñar las estaciones elevadoras y/o de bombeo y de sus tramos de impulsión y succión. El programa

debe usar el método del gradiente o un método equivalente para el cálculo de tuberías simples, si se presenta un caso en que se tiene únicamente una tubería de impulsión; para el diseño de deben emplear rutinas de optimización.

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 información no exista, deben realizarse nuevos levantamientos o actualizar la información existente.

Debe tenerse información de las siguientes características de la estación elevadora y/o de bombeo:

- Potencia y eficiencia de las bombas.
- Curvas de las bombas.
- Características hidráulicas de la red de alcantarillado aguas arriba y aguas abajo de la estación.
- Capacidad de energía eléctrica de la zona.

11.8 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA ESTACIÓN

11.8.1 Inspecciones preliminares

Cuando sea puesta en marcha la estación elevadora y/o de bombeo deben inspeccionarse los diferentes elementos de la estación antes de continuar con cualquier otra prueba. Los siguientes son los elementos que deben ser inspeccionados para verificar su buen funcionamiento:

- Instalaciones eléctricas en sus conexiones y aislamientos.
- Las válvulas y accesorios en su apertura y cierre. Además, debe medirse el tiempo de accionamiento y si se encuentra la necesidad de grandes esfuerzos para la operación debe corregirse el mecanismo correspondiente.
- Interruptores, arrancadores, sensores y demás elementos de control, en especial si estos son de accionamiento automático.
- Los ejes de los motores para asegurar que estén perfectamente alineados.
- Se debe verificar la calidad y la cantidad del aceite con el que se lubrican los motores y las válvulas.

11.8.2 Pruebas preliminares

A la estación elevadora y/o de bombeo deben hacérsele unas pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación, para

tener seguridad en el buen funcionamiento de la estación, o en caso contrario detectar los posibles errores y tomar las medidas correctivas antes de poner en servicio la estación de elevadora y/o de bombeo.

Se debe llevar registro de las fichas que requieren medición y presentar un informe detallado de la prueba, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas.

11.8.2.1 Pozo de succión

Al pozo tiene que hacérsele una prueba hidrostática con el nivel máximo posible para detectar fugas y verificar el comportamiento estructural. Debe observarse la forma que generan las corrientes del flujo a la entrada, asegurándose que no generen zonas de alta turbulencia y que la entrada a las tuberías de succión sea uniforme en todas las unidades de bombeo.

11.8.2.2 Bombas y motores

En la primera inspección del comportamiento de las bombas deben ser tenidas en cuenta las siguientes disposiciones:

- Para cada una de las bombas deben observarse las condiciones de circulación del agua y la posible vorticidad en el pozo de succión, así como a la posible entrada de aire a la tubería de succión.
- Se deben establecer los niveles de ruido y vibración de los equipos.
- Si el motor de las bombas es diesel, deben estimarse los tiempos de arranque.
- Debe medirse el caudal total a la salida de una unidad de bombeo y la altura dinámica total suministrada para obtener el punto de operación de la estación de bombeo, y de este modo saber si la bomba está operando en su máximo nivel de eficiencia.

11.8.2.3 Dispositivos de control

Se debe asegurar un buen funcionamiento de los equipos de medición y control de la estación elevadora y/o de bombeo, dentro de los cuales están incluidos los manómetros, sensores, flotadores, indicadores de nivel y demás dispositivos de control.

11.8.3 Pruebas hidrostáticas para tuberías de impulsión

Cuando haya finalizado la instalación de la tubería de impulsión y cumpliendo con el protocolo de pruebas establecido en el diseño, la prueba hidrostática debe

presurizarse hasta el nivel máximo de la presión dinámica que va a soportar durante su vida útil, para verificar su estanqueidad y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, etc. Del mismo modo se debe verificar el correcto funcionamiento de los anclajes, siguiendo el protocolo de pruebas.

11.8.4 Medición de caudales

Cuando finalicen las pruebas hidrostáticas y sea llenada la zanja en los tramos enterrados de la tubería, deben verificarse los caudales de operación incluyendo el caudal máximo. Para verificar dichos caudales debe calcularse tanto el caudal de entrada como el caudal de salida de la tubería de impulsión. Dentro del protocolo de pruebas, debe establecerse el tipo de aparatos de medición, la precisión que deben tener y el nivel de duración de la prueba.

11.8.5 Línea piezométrica de la tubería de impulsión

Para verificar lo establecido en el diseño y siguiendo el protocolo de pruebas dado por el diseñador, se debe medir la altura piezométrica en diferentes puntos de la tubería para diferentes condiciones de caudal, entre ellos el caudal máximo y el caudal mínimo.

La altura piezométrica debe verificarse utilizando los puntos de medición establecidos en la tubería, prioritariamente en aquellos puntos de la tubería donde haya cambios de dirección, tanto verticales como horizontales. Los datos obtenidos deben ser almacenados en un sistema de información, para ser comparados con los datos obtenidos a lo largo del período de diseño del proyecto durante su operación normal.

11.8.6 Golpe de Ariete

Se deben medir las condiciones normales de operación que produzca las mayores y las menores sobrepresiones para realizar una prueba de golpe de ariete. En esta prueba se debe simular la condición normal de operación que se establece en los protocolos de prueba, y la presión debe medirse en los puntos que de acuerdo con el diseño, presentan las máximas sobreelevaciones de presión y las mínimas subpresiones.

Los datos obtenidos con esta prueba deben conservarse en el sistema de información de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. con el fin de comparar con los datos que se obtengan durante todo el período de operación normal de la red.

11.8.7 Accesorios y Válvulas

Cuando se termine la construcción e instalación de los componentes de la estación elevadora y/o de bombeo debe verificarse la estanqueidad de cada uno de los accesorios. Con respecto a las válvulas y otros equipos electromecánicos, se debe verificar que tengan un buen funcionamiento antes de ser puestas en operación.

11.8.8 Válvulas de cheque

Para las válvulas de cheque se debe verificar que no se presenten contraflujos, los cuales ocasionen daños en las bombas o aplastamientos de las tuberías. Estas válvulas deben cumplir con las Normas Técnicas Colombianas correspondientes o con las normas AWWA C508, AWWA C510, o cualquier otra norma internacional que tenga la autorización de Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. Si las válvulas de cheque utilizadas son fabricadas con aleaciones de cobre, se debe cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 1762.

11.9 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN

Durante la operación de la estación, deben seguirse los siguientes requisitos:

- El accionamiento de bombas debe ser automático usando los sensores de nivel en los pozos de succión y de descarga, para que se apaguen las bombas cuando el nivel del agua sea muy bajo e impida el normal funcionamiento del sistema de bombeo y vuelvan a encenderse cuando los niveles del pozo de succión indiquen que estén cercanos al máximo permitido.
- Los dispositivos de medición y control deben indicar visual y auditivamente de una situación de potencial peligro al personal que se encuentra en la sala de control.
- Para realizar la limpieza de la estación de bombeo se debe disponer de elementos y sistemas adecuados, tales como tanques de aguas claras, tuberías, tomas, mangueras, bombas de achique, sifones, etc.
- Las unidades de bombeo deben disponer de sistemas de encendido individual.
- Los datos sobre los que se debe tener especial control en la estación elevadora y/o de bombeo son: caudal total en la estación, caudal por cada bomba, el nivel en el canal afluente, presión en las líneas de succión de cada unidad de bombeo, presión en todas las líneas de impulsión, nivel del agua en el pozo de succión y en el tanque de descarga, y los niveles de ruido y vibración.

11.9.1 Mediciones de caudal

En la totalidad del período de diseño del proyecto debe medirse el caudal de bombeo en forma continua y se deben guardar los registros para llevar una base de datos que permita establecer el balance de agua en la línea de impulsión y en la descarga aguas abajo de ésta.

Para las medidas de caudal se tienen que tomar mediciones telemétricas, por lo cual en el diseño se deben establecer claramente los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de toma de datos de caudales y el nivel de precisión de las medidas.

11.9.2 Golpe de Ariete

En todas las líneas de impulsión de bombeos se deben medir las sobrepresiones y las subpresiones que se generan bajo condiciones normales de operación de flujo no permanente, tomando registro en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas, para lo cual es obligatorio el uso de telemetría.

En el diseño se deben establecer claramente los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de toma de datos de caudales y el nivel de precisión de las medidas.

11.9.3 Línea Piezométrica

Durante todo el período de diseño del proyecto se debe hacer una revisión permanente de la línea piezométrica o la línea de gradiente hidráulico a todas las tuberías de impulsión, para lo cual es obligatorio el uso de telemetría.
En el diseño se deben establecer claramente los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de toma de datos de caudales y el nivel de precisión de las medidas.

11.9.4 Instrumentación y telemetría en las tuberías de impulsión

En los puntos de la línea de impulsión donde haya instrumentos de telemetría debe verificarse que la precisión de los instrumentos cuando entren en operación esté dentro del rango ±1%. Se debe verificar la correcta instalación en los diferentes puntos de la tubería en forma permanente y a lo largo de todo el período de diseño del proyecto.

Para los sensores o transductores de presión se debe verificar que la capacidad de éstos cubra todo el rango de presiones que pueda presentarse en la línea de impulsión, tanto en condiciones normales o en condiciones de emergencia de operación, en particular las sobrepresiones y subpresiones que se presentan en los casos de flujo no permanente.

Para los sensores de nivel, se debe verificar que la capacidad de éstos cubra todo el rango de niveles que pueda presentarse en el canal afluente y en el pozo de succión, tanto en condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia de operación, en particular los niveles máximos y mínimos que se presentan.

Para los medidores de velocidad y de caudal se debe verificar que la capacidad de éstos cubra todo el rango de velocidades que puedan presentarse en la tubería, tanto en condiciones normales de operación o en condiciones de emergencia de operación.

11.9.5 Punto de operación de la bomba

Con los registros de la medición de caudal y de la altura piezométrica se debe verificar continuamente el punto de operación de las bombas, con el fin de asegurar que se esté operando en los puntos de máxima eficiencia dados por el diseño.

El diseñador debe establecer cuál es el rango de precisión de las medidas para el cual se debe hacer una revisión del estado de las bombas y de los demás equipos electromecánicos de la estación elevadora y/o de bombeo.

11.9.6 Uso de tecnologías de información para la operación

Se debe utilizar un programa de modelación hidráulica de redes para la operación de las tuberías de impulsión, basándose preferiblemente en el método de gradiente. El modelo debe tener en cuenta la altimetría, planimetría y las características hidráulicas y de operación aguas arriba y aguas abajo de la estación. El modelo debe representar de manera precisa la condición y el comportamiento real de la red. El modelo hidráulico utilizado debe contar con rutinas de calibración.

11.10 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN

Se debe crear un cronograma rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación a la estación elevadora y/o de bombeo, estableciendo las actividades diarias, mensuales y anuales, tomando como base la información suministrada por el fabricante.

Dentro del diseño de la estación elevadora y/o de bombeo debe estar incluida la disminución del nivel de eficiencia en el bombeo al cual requiere que se realicen los mantenimientos para que la estación vuelva a su máximo nivel de servicio.

El cronograma de mantenimiento debe ser de tipo predictivo para evitar que se presenten interrupciones en el servicio de la estación.

Los operadores de la estación elevadora y/o de bombeo deben llevar un registro de las actividades de mantenimiento que le sean realizadas, que incluya el daño presentado y las fallas que ocasiona, repuestos utilizados, tiempo de reparación y medidas preventivas tomadas para disminuir su ocurrencia.

11.10.1 Equipos eléctricos

El mantenimiento de los equipos eléctricos debe realizarse según lo establecido en el manual de mantenimiento elaborado por Aguas de Barrancabermeja S.A E.S.P. tomando como base el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) y los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes.

11.10.2 Equipos de bombeo y protección eléctrica

El mantenimiento preventivo debe incluir las siguientes actividades:

- Diariamente debe hacerse una inspección general a los equipos de bombeo, el tablero de control y los niveles del agua. También se debe estar atento a las condiciones de operación, tales como cantidad de ruido y vibración.
- Mensualmente deben limpiarse los equipos de bombeo y verificar la calidad del aceite de los motores y de las instalaciones eléctricas.
- Semestralmente debe verificarse el funcionamiento y operación de las válvulas de cheque.
- Anualmente debe verificarse el estado de las protecciones eléctricas y hacerles alineamiento a los motores de las bombas.

Se deben tomar las medidas correctivas necesarias si llegan a encontrarse daños o inconvenientes en el funcionamiento de cualquier elemento de la estación.

11.10.3 Pozo de succión

Semestralmente debe hacérsele una limpieza general al pozo de succión y una verificación de exfiltraciones.

11.10.4 Mantenimiento de accesorios

El mantenimiento de los accesorios que forman parte de la estación elevadora y/o de bombeo (válvulas, rejillas de cribado, etc) debe realizarse mensualmente para verificar el estado general y la apertura. Este mantenimiento debe realizarse teniendo en cuenta las respectivas normas técnicas.

12. PROYECTOS DE VIVIENDA

12.1 Alcance

A continuación se describen las normas y los parámetros de diseño con los que deben cumplir los particulares o empresas para la expansión, ampliación y optimización de las redes de alcantarillado público y de los tramos para empalmar a la red pública.

Los proyectos de redes de alcantarillado para urbanizaciones públicas y privadas deben cumplir con el Decreto 302 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico y su Decreto Modificatorio 229 de 2000. Los diseños deben cumplir con las especificaciones técnicas y las normas de Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P., los Aspectos técnicos en redes de alcantarillado del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000 y a la norma NTC 1500 – código de fontanería.

12.2 Consideraciones generales

A continuación se describen los parámetros que deben ser tenidos en cuenta para realizar el diseño de una red de alcantarillado sanitario y/o pluvial, ya sea una red privada o pública.

12.2.1 Consideraciones para Redes Privadas

- Los diseños de las redes de alcantarillado privadas deben cumplir con las normas vigentes de Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. Entre los diseños

presentados debe estar incluido el tramo que empalma con la red pública de alcantarillado.

- Cuando los diseños de la urbanización o edificación sean presentados a Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. estos serán revisados, y de ser aprobados se supervisara la construcción del tramo que empalma con la red de alcantarillado público y los desagües de aguas lluvias.
- En los casos en que se presente que los niveles de piso acabado de las urbanizaciones o edificaciones están por debajo de los N.P.A del nivel de la rasante de la vía o las zonas verdes en las cuales está ubicada la red pública o privada de alcantarillado, Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. exigirá a los urbanizadores un sistema de bombeo de aguas residuales y/o lluvias, que lleve las aguas hasta el nivel de la rasante o superior de ser posible; lo anterior está basado en el Artículo 7 del Decreto 302.
- El urbanizador debe seguir lo establecido en el RAS, en su versión vigente o en la Norma NTC 1500 – código de fontanería. Para la instalación de las redes dentro de la urbanización.
- Los urbanizadores deberán responder por los daños causados a otras redes de servicios públicos que pasen por el sitio donde se ejecutara el proyecto y reubicarlas con autorización de Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.

12.2.2 Consideraciones para Redes Públicas

- Los diseños de las redes de alcantarillado públicas deben cumplir con las normas vigentes de Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.
- Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. debe revisar y aprobar los diseños, y supervisar la construcción de la red que será incluida al sistema de alcantarillado. Además es responsable de la operación y el mantenimiento de la red.
- En los casos en que se presente que los niveles de piso acabado de las urbanizaciones o edificaciones están por debajo de los N.P.A del nivel de la rasante de la vía o las zonas verdes en las cuales está ubicada la red pública o privada de alcantarillado, Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. exigirá a los urbanizadores un sistema de bombeo de aguas residuales y/o lluvias, que lleve las aguas hasta el nivel de la rasante o superior de ser posible; lo anterior está basado en el Artículo 7 del Decreto 302.

12.3 Certificado de aprobación de disponibilidad

Los urbanizadores deben solicitar en Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. el Certificado de Disponibilidad del Servicio de Alcantarillado Sanitario y/o Pluvial,

con el cual se especifican los sitios en los cuales se puede hacer el empalme con las redes de alcantarillado público.

Para la obtención de este Certificado deben presentarse los siguientes documentos:

- Plano de la ubicación general del proyecto.
- Cedula o cámara de comercio del solicitante.
- Certificación de la oficina de Planeación Municipal del predio y del uso que se le puede dar.
- Cedula catastral o licencia.

12.4 Certificado de aprobación de diseños

Los siguientes son los requisitos que se deben cumplir para obtener la aprobación de diseños sanitario y/o pluvial, ya sea para una nueva urbanización o edificación, o un proyecto de expansión de una red existente.

Para la obtención de este Certificado deben presentarse los siguientes documentos:

- Certificado de Disponibilidad del servicio de Alcantarillado expedido por Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.
- Memorias de cálculo redes de alcantarillado para urbanizaciones o edificaciones.
- Planos del diseño hidráulico y detalles para la revisión.
- Planos adicionales para sello y firma de aprobación.

La aprobación de disponibilidad y diseños tiene una validez de 2 años, tiempo durante el cual deberá ejecutarse la obra; de los contrario se deberá realizar todo el procedimiento para la nueva obtención de los certificados.

12.5 Parámetros de diseño

12.5.1 Parámetros generales de diseño

Para realizar el diseño de un proyecto de expansión, ampliación y optimización de una red de alcantarillado se deben seguir los parámetros de diseño establecidos en los capítulos 5 y 6 de la presente norma, pero además deben cumplirse los parámetros descriptos a continuación:

- Debe evitarse en lo posible que la red de alcantarillado pase por zonas verdes ya que las raíces de los arboles complican la inspección y limpieza.
- Es obligatorio dar cumplimiento al numeral 4.5.4 Distancias mínimas a otras redes de la presente norma.
- Si alguna red comienza dentro de un proyecto cerrado y esta drena hacia áreas externas, la cámara se debe ubicar en el exterior del lindero, y así evitar problemas de servidumbres y demás complicaciones en futuras conexiones a esa red.
- Antes de construir o pavimentar una vía, esta debe contar con la red de alcantarillado sanitario y/o pluvial.

12.5.2 Diseño de Acometidas

El diseño de las acometidas debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Para cada edificio o vivienda se debe instalar una acometida propia.
- El diámetro mínimo de una acometida puede ser 150mm (6”).
- La pendiente mínima de la acometida debe ser de 2%.
- La máxima longitud de una acometida es de 10m.
- Si el empalme se le va a hacer a una tubería de concreto debe incluirse una caja de empalme a la red pública.
- Se debe cumplir con lo establecido en las especificaciones técnicas de construcción de la empresa Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. con respecto a los empalmes de una tubería.

12.5.3 Comportamiento hidráulico de la red receptora

Cuando la red reciba los caudales provenientes de la nueva urbanización o edificación se tiene que verificar el comportamiento hidráulico de la red.
Si la tubería receptora de estos caudales es de 350mm (14”) el diseñador debe calcular el flujo uniforme, pero si el diámetro es menor de 350mm (14”) se debe hacer el cálculo de flujo gradualmente variado para establecer la nueva línea piezométrica.

Debe verificarse que el nuevo caudal no provoque sobrecarga en la tubería existente aguas arriba y aguas abajo de la acometida o empalme; también debe verificarse que los nuevos niveles no produzcan contraflujos y terminen afectando otras acometidas.

13. ASPECTOS AMBIENTALES

13.1 ALCANCE

Los diseños de un sistema de alcantarillado para Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. deben cumplir con varios requisitos desde el punto de vista ambiental con el objetivo de mitigar los impactos causados por el funcionamiento y mantenimiento del sistema; deben ser tenidos en cuenta el tipo de uso del suelo y el tipo de obra, para determinar el manejo ambiental a implementar.

Los tipos de obras de sistemas de alcantarillado son los siguientes:

- Obras de ampliación o expansión.
- Obras de optimización.
- Obras de reposición.

13.2 Leyes de control territorial y ambiental

Los procedimientos legales que deben ser tenidos en cuenta para la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial que genere impacto ambiental están sustentados en La Ley 388 de 1997 y la Ley 99 de 1993.

13.2.1 Plan de Ordenamiento Territorial - POT

Con el fin de evitar la construcción de edificaciones o urbanizaciones en zonas de Barrancabermeja donde no haya posibilidad de cobertura de servicios públicos, debe ser tenido en cuenta el Capítulo III de la Ley 388 de 1997 del POT, donde indica que el perímetro urbano municipal no puede ser mayor que el perímetro de servicios (Parágrafo 2º, artículo 12, Ley 388/1997).

13.2.2 Suelos para la construcción obras de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial

Barrancabermeja cuenta con un POT, en los cuales se clasifican los territorios del municipio y con base en esto se evalúa la posibilidad de realizar la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial. Las siguientes son las opciones de clasificación que puede darse a un suelo:

- Suelo de protección.
- Suelo rural.
- Suelo suburbano.

- Suelo de expansión urbana.
- Suelo urbano.

La anterior información está sustentada por el Capítulo IV de la Ley 388 de 1997 o la Ley de desarrollo Territorial.

Por medio del Articulo 14 de la ley 388 de 1997 del POT se establece las políticas para el uso del suelo rural, la ubicación de las obras de alcantarillado en las zonas urbanas, suburbanas y rurales, la adecuada interacción entre la cabecera municipal y los asentamientos rurales.

En la Ley 99 de 1993 o la Ley de Medio Ambiente son mencionadas las áreas naturales protegidas, las cuales deben contar con un manejo especial de los recursos naturales renovables.

13.2.3 Licencia de construcción

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo son el único componente del sistema de alcantarillado que requieren tener la Licencia de Construcción.

13.3 Permiso ante las entidades nacionales y locales

13.3.1 Permiso de ocupación de cauces

Si la construcción de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial amerita la ocupación permanente o transitoria de un río, quebrada o depósito de agua, se debe solicitar un permiso a la Autoridad Ambiental Competente.
Si el sistema de alcantarillado es público Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. quien debe solicitar el permiso; pero si es un sistema de alcantarillado privado, el urbanizador debe solicitarlo por cuenta propia.
Se deben solicitar el permiso de ocupación de cauce a las siguientes entidades ambientales nacionales y locales:

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Corporación Autónoma de Santander (CAS).
- Ministerio de Protección Social.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
- Comisión Reguladora de Agua Potable CRA.

13.3.2 Permiso de vertimiento

Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. debe solicitar el permiso de vertimiento ante la Corporación Autónoma de Santander (CAS), la cual controla la calidad de los vertimientos y las tasas retributivas.

El diseñador debe tener en cuenta las normas de calidad de los vertimientos a los cuerpos de agua y el pago de las tasas retributivas, las cuales se establecen en el Decreto 1594 de 1984.

13.3.3 Permiso de aprovechamiento forestal

El diseño debe tener en cuenta el Decreto Ley 2811 de 1974 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, para solicitar el Permiso de Aprovechamiento Forestal cuando el proyecto amerite la tala de árboles para la construcción del sistema de alcantarillado.

13.3.4 Manejo de Impacto Comunitario y Señalización durante la ejecución de un proyecto

En los estudios previos de un proyecto debe identificarse la afectación al medio ambiente y a la comunidad durante la construcción y operación para diseñar la mitigación de los impactos. Se deben evaluar los impactos producidos a los recursos hídricos, el suelo, la vegetación y el factor urbano.

13.4 Aspectos ambientales específicos para los sistemas de alcantarillado

13.4.1 Redes de alcantarillado de aguas residuales y/o lluvias

13.4.1.1 Etapa de Planeación y Diseño

En las etapas de planeación y diseño deben solicitarse y obtener las licencias y los permisos exigidos por la Autoridad Ambiental Competente (CAS) para ejecutar las obras de construcción de una red de alcantarillado.

Los impactos que deben ser tenidos en cuenta para cada obra son:

- Tráfico vehicular y peatonal.
- Tala de árboles y remoción de césped.
- Generación de material particulado.
- Demolición de pavimento y de andén.

- Emisión de ruido.
- Daños en otras redes de servicios públicos.

Los impactos ambientales relacionados con este tipo de obra son de tipo urbano, por lo cual debe ser tenida en cuenta la Ley 769 de 2002, Resolución 1050 del 2004 del Ministerio del Transporte “Señalización de seguridad y protección en las zonas de trabajo”.

13.4.1.2 Etapa de Construcción

Durante la construcción de una red de alcantarillado se debe tener en cuenta la Ley 769 del 2002, Resolución 1050 del 2004 del Ministerio del Transporte “Señalización de seguridad y protección en las zonas de trabajo”.

13.4.1.3 Etapa de Operación y Mantenimiento

Los impactos negativos más generados por la operación y mantenimiento de un sistema de alcantarillado sanitario y/o pluvial son:

- Conexiones erradas.
- Malos olores en los sumideros por la falta del sello de agua.
- Disposición de basuras en las cámaras de inspección.
- Corte y demolición de carreteras, andenes y zonas verdes.
- Daño en propiedades privadas e inundación de las vías.
- Disposición de basura a los canales y a los cuerpos receptores de agua.
- Mala disposición de sedimentos retirados de las tuberías en el mantenimiento.
- Rebosamiento por las cámaras de inspección debido a la obstrucción del caudal.
- Ruido y contaminación generada por el equipo y la maquinaria.
- Afectación del tráfico en la zona del proyecto.
- Vertimiento de aguas residuales en tiempo seco a la descarga de los aliviaderos.
- Deficiencia de otros servicios públicos producidos por la fallas del sistema de alcantarillado.

13.4.2 Estaciones elevadoras y/o de Bombeo

13.4.2.1 Etapa de Planeación y Diseño

Los impactos ambientales relacionados con este tipo de obra son de tipo urbano, por lo cual debe ser tenida en cuenta la Ley 769 de 2002, Resolución 1050 del 2004 del Ministerio del Transporte “Señalización de seguridad y protección en las zonas de trabajo”.

13.4.2.2 Etapa de Construcción

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo pueden ser enterradas, semienterradas o elevadas; estas pueden ser ubicadas en zonas suburbanas o urbanas.

Para compensar de la mejor forma posible a la comunidad, la zona donde se construye la estación debe ser empradizada y ambientada con jardines para disminuir el impacto negativo al paso de los transeúntes. En los casos en que la estación este enterrada se puede habilitar como canchas deportivas para la población, pero tomando medidas de protección

13.4.2.3 Etapa de Operación y Mantenimiento

Las zonas donde se encuentren ubicadas las estaciones elevadoras y/o de bombeo deben permanecer visiblemente agradables para el paso de las personas.

A continuación se presentan los impactos causados por las estaciones elevadoras y/o de bombeo y las medidas de mitigación que se deben tener en cuenta:

- La emisión de gases a la atmosfera por el funcionamiento de la estación.
- Los fuertes ruidos producidos por los motores. Debe ser tenida en cuenta la Ley 45 de 1995.
- Los fuertes olores generados por la presencia de las aguas residuales.

13.4.2.4 Medidas de mitigación

- Aislar acústicamente la sala de máquinas con material aislante para evitar que el fuerte ruido afecte a los transeúntes.
- No permitir el ingreso de personas a la zona de operación.
- Controlar la emisión de gases para cumplir con los estándares de emisión establecidos en el decreto 948 de 1995.
- Utilizar químicos para controlar los malos olores.

14. INTERVENTORÍA DE DISEÑOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

14.1 Alcance

La interventoría debe verificar que en el diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial se dé cumplimiento a los parámetros y criterios establecidos en el presente manual y los lineamientos Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV de Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.

De acuerdo con la Ley que el diseño de un proyecto tenga interventoría, no exime al diseñador de su responsabilidad sobre los criterios y decisiones tomadas durante el desarrollo de un proyecto.

14.2 Personal de la Interventoría y de los diseños

El personal de la interventoría y de los diseños debe estar conformado por profesionales idóneos con la experiencia y el estudio necesario para cumplir con a cabalidad con sus funciones.

A continuación se presenta el título y la experiencia mínima que debe tener los profesionales que van a realizar la interventoría y diseños para los diferentes tipos de proyectos:

- Interventorías de diseños hidráulicos y sanitarios, debe ser ingeniero civil o ingeniero sanitario y tener una experiencia mínima de 4 años.
- Interventorías de diseños estructurales o geotécnicos, debe ser ingeniero civil y tener una experiencia mínima de 6 años.
- Interventorías de diseños de elementos no estructurales, debe ser ingeniero civil o arquitecto y tener una experiencia mínima de 1 año.
- Interventorías de diseños de instalaciones mecánicas, debe ser ingeniero mecánico y tener una experiencia mínima de 4 años.
- Interventorías de diseños de instalaciones eléctricas, debe ser ingeniero eléctrico y tener una experiencia mínima de 4 años.
- Interventorías de diseños de equipos electrónicos, debe ser ingeniero electrónico y tener una experiencia mínima de 4 años.

Los profesionales que vayan a realizar la interventoría deben tener la matricula profesional vigente y la experiencia acredita es válida después de la expedición de

ésta. Si se presenta un caso en el que Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. considere que se necesita un profesional de mayor experiencia está en libertad de hacerlo.

14.3 Interventoría de diseño

La interventoría debe verificar que los diseños de proyectos de sistemas de alcantarillado cumplan con los requisitos establecidos en esta norma, y así dar su aprobación y poder iniciar la construcción. Dentro de estos requisitos está la aprobación de las metodologías, los cálculos y los protocolos de prueba para las estructuras, elementos y accesorios que hacen parte del sistema.

14.3.1 Funciones principales de la Interventoría de Diseño

Las siguientes son las principales funciones de la Interventoría de Diseño para los proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario y/o pluvial de Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P.:

- Realizar un seguimiento permanente a los trabajos de diseño para identificar inconformidades que afecten el proyecto y comprobar la corrección de éstos.
- Comprobar que los diseños cumplan con todo lo establecido en la presente norma.
- Comprobar que los diseños se realicen de acuerdo con los pliegos de condiciones y los detalles particulares.
- Comprobar que los planos y los informes que presente el diseñador tengan la suficiente información para que sea correctamente interpretado en la etapa de construcción.
- Comprobar que la experiencia de los profesionales que elaboran los diseños cumpla con la requerida por la presenta norma, en el numeral 14.2.
- Revisar los informes presentados por los diseñadores, para identificar los errores en la elaboración de los diseños.

14.3.2 Verificación de protocolos de pruebas

La Interventoría debe verificar que el diseñador entregue el protocolo de pruebas de diseño, en el cual se deben definir las pruebas hidráulicas que se debe hacer al sistema de alcantarillado antes de entrar en operación. El protocolo de pruebas debe definir el tipo de operación hidráulica y los puntos en que se deben realizar las pruebas, la frecuencia y el periodo de la toma de datos.