FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO DEL CENTRO POBLADO DEL CORREGIMIENTO DE PALERMO EN EL MUNICIPIO DE PAIPA

PRODUCTO 5. PLAN DE EXPANSIÓN Y DISEÑOS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO OBJETIVO

CONSULTOR

T&M INGENIERIA Y SOLUCIONES AMBIENTALES S.A.S.

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 619 DE 2023

DICIEMBRE
2023

CONTROL DE CAMBIOS

Fecha	Versión	Revisado por:	Aprobado por:
06/12//2023	01		
Firma:			

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7
2. OBJETIVOS 8
2.1 GENERAL 8
2.2 ESPECÍFICOS 8
3. GENERALIDADES 9
3.1 REFERENCIA GENERAL 9
3.2 ALCANCE 9
3.3 OBLIGATORIEDAD 9
3.4 METODOLOGÍA EMPLEADA 9
3.4.1 DIAGNOSTICO Y CATASTRO ALCANTARILLADO EXISTENTE 9
3.4.2 DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE PLANEAMIENTO Y DISEÑO CONCEPTUAL 11
3.4.3 CENSO DE POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO 11
3.4.4 CENSOS DANE 12
3.4.5 INFORMACIÓN SISBÉN 12
3.4.6 INFORMACIÓN PUNTOS VENDIDOS 13
3.4.7 INFORMACIÓN PUEAA 15
3.4.8 COMPARACIÓN CON PROYECCIÓN POBLACIÓN DANE 15
3.4.9 HABITANTES POR VIVIENDA 17
3.4.10 POBLACIÓN FLOTANTE 18
3.4.11 POBLACIÓN ACTUAL 19
3.4.12 METODOS DE CALCULO PARA LAS PROYECCIONES DE POBLACIÓN 20
3.5 METODO DE PROYECCIÓN SELECCIONADO 23
3.5.1 Dotación Neta 23
3.5.2 Tiempo de Concentración 24
3.5.3 Determinación de la intensidad de lluvia 24
3.5.4 Coeficiente de Escurrimiento (C) 26
3.5.5 Diámetro 29
3.5.6 Pendiente del terreno y velocidad 29
3.5.7 Colector 29
3.5.8 Estructura de caída 29
3.5.9 Cota de batea 29

3.5.10 Cota de rasante 29
3.5.11 Cota de fondo 29
3.5.12 Cota Clave 29
3.5.13 Pozos de inspección 29
3.5.14 Tramo 29
3.5.15 Numero de Froude 30
3.5.16 Coeficiente de Rugosidad de Manning 30
3.5.17 Relaciones hidráulicas de los conductos 30
3.6 TIPOS DE SISTEMA DE DRENAJE 30
3.7 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL 30
3.7.1 Periodo de planeamiento y diseño conceptual 31
3.7.2 Caudal de diseño de aguas residuales 31
3.7.2.1 Contribuciones de aguas residuales domésticas y otros usos 31
3.7.2.2 Aguas Residuales Domesticas (QD) 31
3.7.2.3 Aguas Residuales Comerciales (Qc) 32
3.7.2.4 Aguas Residuales Institucionales (QIN) 32
3.7.2.5 Caudal medio Diario de aguas Residuales 32
3.7.2.6 Caudal máximo horario 32
3.7.2.7 Conexiones erradas (Qce) 33
3.7.2.8 Caudales de Infiltración (QINF) 33
3.7.2.9 Caudal de Diseño de aguas Residuales 33
3.7.2.10 Caudal de aguas lluvias 33
3.7.2.11 Caudal de aguas combinadas 34
3.7.2.12 Diseño hidráulico 34
3.7.2.13 VELOCIDAD Y PENDIENTE MÍNIMA 35
3.7.2.14 VELOCIDAD Y PENDIENTE MÁXIMA 36
3.7.2.15 PROFUNDIDAD HIDRÁULICA REAL 36
3.7.2.16 PROFUNDIDAD MÍNIMA A LA COTA CLAVE 36
3.7.2.17 PROFUNDIDAD MÁXIMA A LA COTA CLAVE 36
3.7.2.18 DIÁMETRO MÍNIMO 36
3.7.2.19 DISTANCIAS MÍNIMAS A OTRAS REDES 36
3.8 CAUDAL PLUVIAL 37

3.8.1 Áreas de drenaje 37
3.8.2 Caudal de diseño 37
3.8.3 Periodo de retorno de diseño 37
3.8.4 Coeficiente de escorrentía 38
3.8.5 Tiempo de concentración 39
3.8.6 TIEMPO DE ENTRADA, Te 39
3.8.7 TIEMPO DE RECORRIDO, Tt 40
3.8.8 Diámetro mínimo 41
3.8.9 Aporte de sedimentos 41
3.8.10 Velocidad mínima 42
3.8.11 Velocidad máxima 42
3.8.12 Pendiente mínima alcantarillados pluviales 43
3.8.13 Pendiente máxima alcantarillados pluviales 43
3.8.14 Profundidad hidráulica máxima 43
3.8.15 Profundidad mínima a la cota clave 43
3.8.16 Profundidad máxima a la cota clave 43
3.8.17 Sumideros 44
3.8.18 Consideraciones para su proyección 44
3.8.19 Parámetros de diseño 44
3.8.20 Clasificación de los sumideros 44
4. MODELACIÓN HIDRÁULICA ALCANTARILLADO proyectado del centro poblado del corregimiento de palermo 45
5. conclusiones y recomendaciones 45
6. BIBLIOGRAFÍA 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estado de algunas de las redes de alcantarillado del corregimiento de Palermo 10
Figura 2 Revisión y caracterización de pozos del corregimiento de Palermo 11
Figura 3 Proyección de población para Paipa, según censos del DANE 16
Figura 4 Personas por hogar Paipa. 18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación de redes de alcantarillado del corregimiento de Palermo 10
Tabla 2 Relación de pozos de alcantarillado del corregimiento de Palermo 10
Tabla 3 Censos de población y tasa de crecimiento urbano del centro poblado del corregimiento de Palermo 12
Tabla 4 Información del Sisbén Palermo Centro 13
Tabla 5 Tasas de crecimiento SISBÉN 13
Tabla 6 Tasas de crecimiento Venta de puntos 14
Tabla 7. Tasa de crecimiento corregimiento Palermo - PUEAA 15
Tabla 8. Cálculo tasa crecimiento según proyecciones DANE 17
Tabla 9 Cálculo población flotante 19
Tabla 10.Datos de entrada para proyección de población. 19
Tabla 11. Habitantes actuales 19
Tabla 12. Métodos de cálculo recomendados 20
Tabla 13. Proyección de población métodos Aritmético, Geométrico y Exponencial 22
Tabla 14 Dotación neta residencial según el nivel de complejidad del sistema. 23
Tabla 15 Calculo del Tiempo de Concentración Tc 24
Tabla 16 Periodos de retorno de diseño para tramos de alcantarillado 24
Tabla 17 Intensidad para eventos de modelación ALC 25
Tabla 18 Determinación del coeficiente C1 27
Tabla 19 Valores para determinar el coeficiente C2 28
Tabla 20 Valores para determinar el coeficiente C3 28
Tabla 21 Periodos de retorno para tramos de alcantarillado 34
Tabla 22 Valores de coeficiente de rugosidad de Maning para varios materiales 35
Tabla 23 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad 38
Tabla 24 Coeficiente de retardo 40
Tabla 25 Constante a de velocidad superficial 40
Tabla 26 Velocidades máximas permisibles. 42
Tabla 27 Profundidad mínima de colectores 43

1. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente y sostenible de los sistemas de alcantarillado es crucial para el desarrollo urbano y la preservación del medio ambiente. En este contexto, el presente producto se centra en el análisis, mejoramiento y optimización de los sistemas de alcantarillado del centro poblado del corregimiento de Palermo, con el objetivo de abordar los desafíos actuales y futuros asociados con la gestión del agua en entornos urbanos. A medida que las poblaciones enfrentan crecientes presiones demográficas y climáticas, se hace imperativo revisar y perfeccionar las infraestructuras de alcantarillado para garantizar su eficacia, resiliencia y sostenibilidad a largo plazo. En este sentido, exploraremos en detalle las estrategias y tecnologías innovadoras que contribuyen al mejoramiento de los sistemas de alcantarillado, buscando soluciones que promuevan un manejo integral del agua, minimicen impactos ambientales y mejoren la calidad de vida.

En el ámbito del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, la ejecución exitosa de obras y procedimientos constituye un pilar fundamental para asegurar la disponibilidad y calidad de los servicios relacionados con el suministro de agua y el tratamiento de aguas residuales. Comprender los diversos procesos vinculados a la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado y aseo es esencial para garantizar la seguridad, durabilidad, funcionamiento adecuado.

La importancia de estos elementos radica en su contribución directa a la mejora de la calidad de vida de los usuarios del centro poblado del corregimiento de Palermo, al tiempo que promueve la preservación de los recursos hídricos y el medio ambiente. Este conjunto de procesos no solo busca cumplir con estándares técnicos y normativas, sino que también busca adaptarse a las demandas cambiantes y a los desafíos emergentes asociados a la gestión integral del agua.

En este contexto, se explorará a fondo los aspectos cruciales que conforman el ciclo completo de las obras y procedimientos del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, destacando la necesidad de una gestión eficiente y sostenible que permita afrontar los retos actuales y futuros en la provisión de servicios esenciales para la sociedad.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Desarrollar el diseño del sistema de alcantarillado combinado para el centro poblado del corregimiento de Palermo, con una proyección de funcionamiento eficiente durante un periodo de 25 años.

2.2 ESPECÍFICOS

- Proyectar las redes nuevas teniendo en cuenta los factores topográficos.
- Diseñar las redes principales del alcantarillado combinado de los tramos a intervenir sumado a los tramos aledaños.
- Realizar los diseños de pozo tipo, sumidero tipo.

3. GENERALIDADES

3.1 REFERENCIA GENERAL

El diseño se ejecutó conforme a las directrices establecidas en las normas del “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico” R.A.S 2017 y sus normas complementarias.

3.2 ALCANCE

Los elementos comprendidos en el ámbito del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico abarcan una variedad de fases que incluyen la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado y saneamiento. El propósito fundamental de estos procesos es asegurar la seguridad, durabilidad, funcionamiento óptimo, calidad, eficiencia, sostenibilidad de dichos sistemas, todo ello dentro de un nivel de complejidad específico.

3.3 OBLIGATORIEDAD

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico constituye el instrumento resolutivo por medio del cual el Ministerio de Desarrollo Económico lo adopta y le otorga un carácter oficial y vinculante para su implementación en todo el territorio nacional. Todas las disposiciones, requisitos, procedimientos, prácticas y demás aspectos contemplados o referidos en dicho reglamento poseen un carácter obligatorio.

3.4 METODOLOGÍA EMPLEADA

- Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial
- Revisión de la infraestructura existente
- Diseño y requerimientos técnicos

Para el respectivo diseño se analiza el alcantarillado sanitario más el pluvial, la suma de los dos caudales es el resultado del alcantarillado combinado del centro poblado del corregimiento de Palermo.

3.4.1 DIAGNOSTICO Y CATASTRO ALCANTARILLADO EXISTENTE

Para la elaboración del diseño correspondiente, se lleva a cabo en primera instancia un diagnóstico de las redes existentes en los tramos que se intervendrán, los cuales están contemplados dentro del marco del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos

(PSMV). Cabe destacar que no se dispone de un plan maestro de alcantarillado en el ámbito del PSMV. En el análisis de los tramos sujetos a intervención, se identificaron las siguientes condiciones.

El corregimiento de Palermo cuenta con un sistema de alcantarillado con tuberías de material en concreto y PVC, identificando cada uno de los tramos entre los cuales se tiene sistema combinado, sanitario y pluvial, lo cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1 Relación de redes de alcantarillado del corregimiento de Palermo

Cantidad de tramos	Sistema	Diámetro tubería
35	Combinado	12 pulg
20	Sanitario	8 pulg
31	Sanitario	10 pulg
11	Sanitario	16 pulg
1	Pluvial	16 pulg

Fuente: Levantamiento topográfico consultoría, 2023.

La evaluación del sistema de alcantarillado existente será presentada en el producto-titulado: Comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado existente.

Figura 1 Estado de algunas de las redes de alcantarillado del corregimiento de Palermo



Fuente: Levantamiento topográfico consultoría, 2023.

De la misma manera, se realizó el levantamiento de los pozos de inspección pertenecientes al sistema de alcantarillado, los cuales se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 2 Relación de pozos de alcantarillado del corregimiento de Palermo

Cantidad de pozo s	Sistema
23	Combinado
27	Sanitario

Fuente: Levantamiento topográfico consultoría, 2023.

Figura 2 Revisión y caracterización de pozos del corregimiento de Palermo



Fuente: Levantamiento topográfico consultoría, 2023.

3.4.2 DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS Y PARÁMETROS BÁSICOS DE PLANEAMIENTO Y DISEÑO CONCEPTUAL

- Áreas tributarias

Se determina como aquella área del proyecto que aporta caudal al pozo en análisis. Se verifica al final que la suma de toda el área tributaria sea igual al total del área a recoger caudal.

- Estimación de caudales de retorno de aguas residuales

A partir de los estimativos de población y de los consumos de agua potable se establecen los caudales de retorno de aguas residuales que servirán para el dimensionamiento hidráulico de los sistemas en la etapa de generación de alternativas.

- Definición del periodo de análisis

Se debe especificar el año de inicio y el año de finalización del sistema.

PERIODO DE DISEÑO: 25 AÑOS INICIO: 2023
FINALIZACIÓN: 2048

3.4.3 CENSO DE POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO

Para el dimensionamiento de redes, estructuras en un sistema de alcantarillado, es necesario visualizar y proyectar a futuro los habitantes del sector en estudio. Para la determinación de dichas estimaciones las que se encuentran:

- Datos históricos de población según del servicio.
- Datos históricos de población de DANE.

De los resultados obtenidos en cada uno de los datos históricos, se toma la población que más se ajuste al proyecto.

3.4.4 CENSOS DANE

La evaluación del crecimiento de la población a lo largo de un período de diseño determinado es un elemento fundamental tanto para definir la complejidad del sistema de alcantarillado aquí considerado, así como también para realizar el planeamiento y diseño detallado de cualquiera de los elementos que componen el sistema de alcantarillado.

Los datos históricos y comportamiento de la tasa de crecimiento, se tiene en cuenta el Censo urbano por parte del DANE realizados en años anteriores (1973, 1985, 1993, 2005), igual las proyecciones de población de las cuales fueron realizadas tomando como base los resultados ajustados de población del Censo 2005 y la conciliación censal 1985 - 2005; así como los análisis sobre el comportamiento de las variables determinantes de la evolución demográfica, las hipótesis y algunos comentarios sobre sus resultados.

Tabla 3 Censos de población y tasa de crecimiento urbano del centro poblado del corregimiento de Palermo

Censos	Datos Población	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL
1993	11,688			
2005	12,028	28.33	0.0024	0.0024
2023	13,514	82.56	0.0065	0.0065
	PROMEDIO	**55.44**	**0.004**	**0.004**
			0.44%	**0.44%**

Fuente: Información estadística DANE. Censos de población municipal 1973 hasta 2018.

De acuerdo con el comportamiento señalado por los censos de la población rural del municipio de Paipa, presenta desde el año 1993 al año 2018, hay una taza de crecimiento de **0.44%**. Sin embargo, al tratarse de un centro poblado de un municipio turístico como es Paipa, se realiza el análisis de otros datos, para identificar la tasa de crecimiento más cercana a la realidad del corregimiento.

3.4.5 INFORMACIÓN SISBÉN

El sistema de selección de beneficiarios para programas sociales SISBÉN, es un sistema a nivel nacional que permite identificar la población vulnerable y potencialmente beneficiaria, así mismo registra a toda la población de cada municipio, de acuerdo con lo anterior al revisar la base de datos con la que cuenta el municipio, se obtuvo lo siguiente.

Tabla 4 Información del Sisbén Palermo Centro

AÑO	NUMERO DE HABITANTES EN PALERMO CENTRO
2018	144
2019	143
2020	141
2021	152
2022	136
2023	202

Fuente: Información oficina Sisbén Paipa.

De la anterior información se realiza la proyección de población para obtener la respectiva tasa de crecimiento.

Tabla 5 Tasas de crecimiento SISBÉN

Censos	Datos Población	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO r	EXPONENCIAL K
2018	144			
2019	143	-1.00	-0.0069	-0.007
2020	141	-2.00	-0.0140	-0.0141
2021	152	11.00	0.0780	0.0751
2022	136	-16.00	-0.1053	-0.1112
2023	202	66.00	0.4853	0.3956
	PROMEDIO	11.60	0.09	0.07
			8.74%	6.77%

Fuente. Propia consultoría, 2023

3.4.6 INFORMACIÓN PUNTOS VENDIDOS

Por parte de la Asociación de suscriptores de acueducto y alcantarillado y saneamiento básico de Palermo, municipio de Paipa, departamento de Boyacá “ASASPABOY”, realizó la entrega de la información respecto a la venta de puntos para el servicio alcantarillado de los últimos cinco años, la cual se presenta a continuación.

ASOCIACIÓN DE SUSCRIPTORES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO BÁSICO DE PALERMO, MUNICIPIO DE PAIPA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ "ASASPABOY"
NIT: 826001583-3

Señores:
EQUIPO CONSULTOR DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO DE PALERMO

Cordial saludo,

En calidad de Representante legal de la ASOCIACIÓN DE SUSCRIPTORES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO BÁSICO DE PALERMO, MUNICIPIO DE PAIPA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ "ASASPABOY
NIT: 826001583-3

CERTIFICO

Que realizada la consulta en las bases de datos de esta asociación se pasa a certificar las solicitudes y puntos nuevos dados por esta asociación, durante los últimos cinco años:

AÑO	SOLICITUDES DE PUNTOS DE AGUA	INSTALADOS	EN ESTUDIO O RECHAZADOS
2023	13	6	7
2022	14	9	5
2021	9	9	0
2020	3	3	0
2019	10	7	3

La presente por solicitud de equipo consultor del Plan maestro de alcantarillado de Palermo.

Atentamente,

ABRAHAM TAMAYO TAMAYO
Representante legal "ASASPABOY"

De acuerdo con la información anterior, se procede a calcular la tasa de crecimiento y se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6 Tasas de crecimiento Venta de puntos

Censos	Datos Población	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL
2019	10		**r**	**K**
2020	3	-7.00	-0.7000	-1.204
2021	9	6.00	2.0000	1.0986
2022	14	5.00	0.5556	0.4418
2023	13	-1.00	-0.0714	-0.0741
	PROMEDIO	0.75	0.45	0.07
			44.61%	6.56%

Fuente: Consultoría, 2023.

3.4.7 INFORMACIÓN PUEAA

Se procedió a realizar un segundo cálculo de tasa de crecimiento, con datos obtenidos en el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, con valores de población del año 2012 al 2016, el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Tasa de crecimiento corregimiento Palermo - PUEAA

PUEAA	POBLACIÓN PALERMO - PAIPA			
Censo	Población	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO r	EXPONENCIAL K
2012	587			
2013	602	15.00	0.026	0.025
2014	618	16.00	0.027	0.026
2015	633	15.00	0.024	0.024
2016	648	15.00	0.024	0.023
	PROMEDIO	15.25	2.5%	2.5%

Fuente: Consultoría, 2023.

3.4.8 COMPARACIÓN CON PROYECCIÓN POBLACIÓN DANE

Se realizó la verificación del archivo “Actualización post covid-19. proyecciones de población municipal por área”, de donde se tomaron los datos de proyección para centros poblados y rural disperso del municipio de Paipa.

Figura 3 Proyección de población para Paipa, según censos del DANE

DANE 70 AÑOS — INFORMACIÓN PARA TODOS — GOBIERNO DE COLOMBIA

ACTUALIZACIÓN POST COVID-19. PROYECCIONES DE POBLACIÓN MUNICIPAL POR ÁREA.

PROYECCIONES DE POBLACIÓN A NIVEL MUNICIPAL. PERIODO 2020 - 2035.

15	Boyacá	15516	Paipa	2024	Cabecera Municipal	22,931
15	Boyacá	15516	Paipa	2024	Centros Poblados y Rural Disperso	13,498
15	Boyacá	15516	Paipa	2024	Total	36,429
15	Boyacá	15516	Paipa	2025	Cabecera Municipal	23,277
15	Boyacá	15516	Paipa	2025	Centros Poblados y Rural Disperso	13,501
15	Boyacá	15516	Paipa	2025	Total	36,778
15	Boyacá	15516	Paipa	2026	Cabecera Municipal	23,579
15	Boyacá	15516	Paipa	2026	Centros Poblados y Rural Disperso	13,517
15	Boyacá	15516	Paipa	2026	Total	37,096
15	Boyacá	15516	Paipa	2027	Cabecera Municipal	23,837
15	Boyacá	15516	Paipa	2027	Centros Poblados y Rural Disperso	13,566
15	Boyacá	15516	Paipa	2027	Total	37,403
15	Boyacá	15516	Paipa	2028	Cabecera Municipal	24,091
15	Boyacá	15516	Paipa	2028	Centros Poblados y Rural Disperso	13,586
15	Boyacá	15516	Paipa	2028	Total	37,677
15	Boyacá	15516	Paipa	2029	Cabecera Municipal	24,289
15	Boyacá	15516	Paipa	2029	Centros Poblados y Rural Disperso	13,664
15	Boyacá	15516	Paipa	2029	Total	37,953
15	Boyacá	15516	Paipa	2030	Cabecera Municipal	24,480
15	Boyacá	15516	Paipa	2030	Centros Poblados y Rural Disperso	13,742
15	Boyacá	15516	Paipa	2030	Total	38,222
15	Boyacá	15516	Paipa	2031	Cabecera Municipal	24,632
15	Boyacá	15516	Paipa	2031	Centros Poblados y Rural Disperso	13,850
15	Boyacá	15516	Paipa	2031	Total	38,482
15	Boyacá	15516	Paipa	2032	Cabecera Municipal	24,792
15	Boyacá	15516	Paipa	2032	Centros Poblados y Rural Disperso	13,948
15	Boyacá	15516	Paipa	2032	Total	38,740
15	Boyacá	15516	Paipa	2033	Cabecera Municipal	24,946
15	Boyacá	15516	Paipa	2033	Centros Poblados y Rural Disperso	14,037
15	Boyacá	15516	Paipa	2033	Total	38,983
15	Boyacá	15516	Paipa	2034	Cabecera Municipal	25,094
15	Boyacá	15516	Paipa	2034	Centros Poblados y Rural Disperso	14,126
15	Boyacá	15516	Paipa	2034	Total	39,220
15	Boyacá	15516	Paipa	2035	Cabecera Municipal	25,214
15	Boyacá	15516	Paipa	2035	Centros Poblados y Rural Disperso	14,220

Fuente: DANE, 2023.

Con los anteriores datos se realizó la verificación de la tasa de crecimiento para ser comparada con las anteriores tasas de crecimiento calculadas, frente a lo cual se obtuvo lo siguiente.

Tabla 8. Cálculo tasa crecimiento según proyecciones DANE

Censos	Datos Población	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO r	EXPONENCIAL K
2024	13,498			
2025	13,501	3.00	0.0002	0.000
2026	13,517	16.00	0.0012	0.0012
2027	13,566	49.00	0.0036	0.0036
2028	13,586	20.00	0.0015	0.0015
2029	13,664	78.00	0.0057	0.0057
2030	13,742	78.00	0.0057	0.0057
2031	13,850	108.00	0.0079	0.0078
2032	13,948	98.00	0.0071	0.0071
2033	14,037	89.00	0.0064	0.0064
2034	14,126	89.00	0.0063	0.0063
2035	14,220	94.00	0.0067	0.0066
	PROMEDIO	**65.64**	**0.0048**	**0.0047**
			0.48%	**0.47%**

Fuente: Consultoría, 2023.

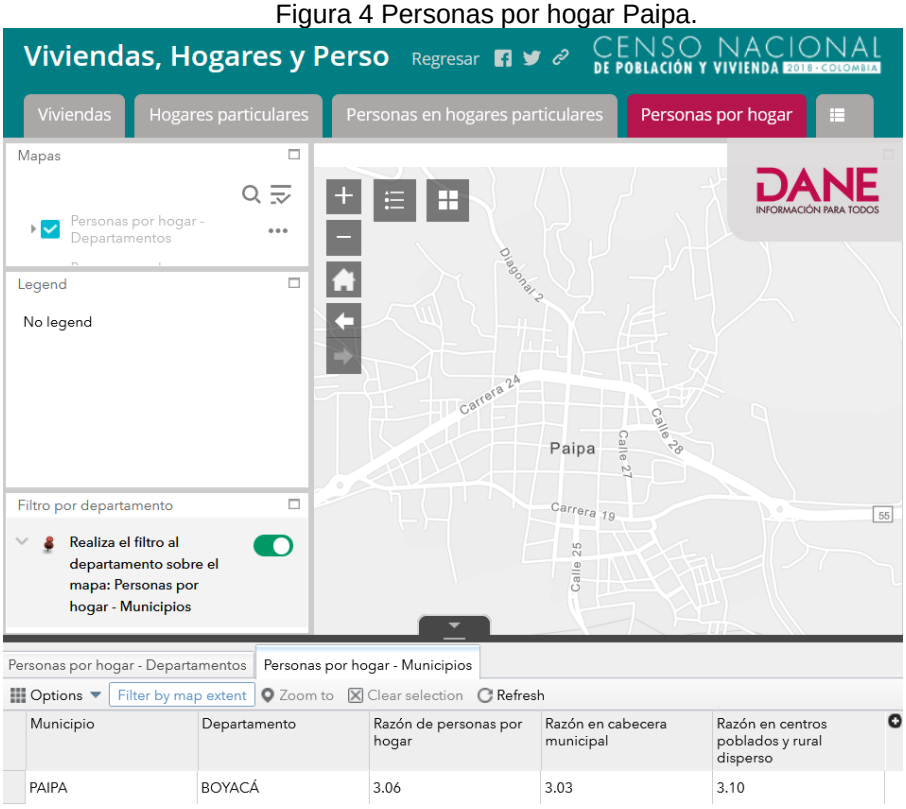
Una vez analizada la información se determina que la tasa de crecimiento del **2.5%,** obtenida a partir de la información del PUEAA, mediante el método geométrico, el cual es el que más de ajusta al modelo de crecimiento de la población, se selecciona como tasa de crecimiento para la proyección de población y caudales.

3.4.9 HABITANTES POR VIVIENDA

En la información suministrada por el municipio y demás entidades no se encontró ninguna información acerca de la evaluación de habitantes por vivienda, por lo tanto, se toma información de entidades como DANE.

Habitantes por vivienda lo obtenemos de la página de datos abiertos del DANE, el cual se implementa para el diseño de **3.1 habitantes por vivienda**:

Figura 4 Personas por hogar Paipa.



Fuente: DANE, 2023.

3.4.10 POBLACIÓN FLOTANTE

Paipa es un municipio turístico y el corregimiento de Palermo, no es la excepción, por factores como las festividades y encuentros que allí se celebran, entre los cuales tenemos: Semana Santa, con afluencia de personas especialmente del jueves al domingo; en junio, se celebra en un fin de semana el festival de la regañona y queso palermano: fiestas patronales del 1 al 4 de septiembre y los aguinaldos palermanos, con un gran evento el 31 de diciembre en la que se congregan más de 1000 personas a participar también en el desfiles de muñecos de año viejo. Teniendo en cuenta esta información, es traducida a cifras, para de esta manera realizar el cálculo del porcentaje de población flotante que se registra en la proyección de población y caudales.

Tabla 9 Cálculo población flotante

CALCULO DE POBLACIÓN FLOTANTE	
DESCRIPCIÓN	**CANTIDAD DE DÍAS**
VACACIONES	90
SEMANA SANTA	5
DIA DEL CAMPESINO	1
FESTIVDAD DEL VIRGEN DEL CARMEN	2
FESTIVOS FIESTA PATRIAS	4
PLAZA DE MERCADO	48
FIESTA VIRGEN	3
FIESTA SEÑOR DIVINA MISERICORDIA	2
AGIONALDO PALERMANO	6
TOTAL	**161**
TASE DE POBLACION	**0.44**

Fuente: Consultoría, 2023

De acuerdo con el cálculo anterior, se obtiene una tasa de población flotante de 44.11%, para ser tenida en cuenta en el cálculo de población.

Tabla 10.Datos de entrada para proyección de población.

Porcentaje de p. flotante %	44.11%
perdidas técnica (actual)	25%
Altura sobre el nivel del mar (promedio)	2251.00 msnm
Dotación neta (litros/hab.- día)	120
Dotación bruta (litros/hab.-día)	160.00
Tasa de crecimiento calculada	0.44 %
Tasa de crecimiento departamental	0.50 %
Tasa de crecimiento seleccionado	2.50 %

Fuente: Consultoría, 2023

3.4.11 POBLACIÓN ACTUAL

Para el presente estudio se contó con la población que va a ser beneficiada correspondiente a los usuarios del alcantarillado.

Tabla 11. Habitantes actuales

NOMBRE	CANTIDAD DE VIVIENDAS	HABITANTES POR VIVIENDA	CANTIDAD DE HABITANTES actuales
Palermo	188	3.1	**583**

Fuente: Consultoría, 2023

Con una población inicial de 583 habitantes, se realiza el análisis de proyección a 25 años por los diferentes métodos de crecimiento, a fin de obtener la población futura.

3.4.12 METODOS DE CALCULO PARA LAS PROYECCIONES DE POBLACIÓN

Los métodos que establece el Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico para el cálculo de las proyecciones de población, el cual se refiere a la determinación de la población, dotación y demanda. Estos métodos resumidos para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico se presentan a continuación:

Tabla 12. Métodos de cálculo recomendados

Método por emplear	Tipo de población		
	Baja población	Mediana población	Alta población
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X	
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X

Fuente: Elementos de diseño para alcantarillado v2 – López Cualla.

Como puede observarse, estos métodos se recomiendan para municipios pequeños a grandes ciudades. Se sugiere entonces, proyectar las poblaciones con los tres primeros métodos, y luego optar por uno, verificando que su aplicación sea la más apropiada al contexto del alcantarillado en mención.

MÉTODO ARITMÉTICO

Este método es recomendado para poblaciones rurales y sector urbanos de baja población. Se caracteriza porque la población aumenta a una tasa constante de crecimiento aritmético, es decir, que a la población del último censo se le adiciona un número fijo de habitantes para cada período en el futuro. Este método es recomendado para pequeñas poblaciones de poco desarrollo o con áreas de crecimiento casi nulas. El método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = Puc + Ka * (Tf - Tuc)z$$

$$Ka = \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci}$$

Dónde:
Pf = población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población
Puc = población (habitantes) correspondiente al último año censado con información
Pci. = población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información
Tuc = año correspondiente al último censo con información
Tci. = año correspondiente al censo inicial con información y
Tf = es el año al cual se quiere proyectar la información.

A continuación, se presenta el cálculo de proyección de población por el método aritmético durante un periodo de 25 años.

MÉTODO GEOMÉTRICO

Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante, ampliamente utilizada para saneamiento básico rural y sectores urbanos menores a los 60000 habitantes, que generan un desarrollo mediano y que poseen áreas de expansión importantes las cuales pueden ser dotadas, sin mayor dificultad, de la infraestructura de servicios públicos. El crecimiento es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de la misma. La ecuación que se emplea es:

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{CI}} \right)^{1/(T_{UC} - T_{CI})} - 1$$

$$r = K_1^{K_2} - 1$$

MÉTODO EXPONENCIAL

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión (sectores de gran desarrollo y ciudades). La ecuación empleada por este método es la siguiente:

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

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{LnP_{cp} - LnP_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde P_{cp} es la población del censo posterior, P_{ca} es la población del censo anterior, T_{cp} es el año correspondiente al censo posterior, T_{ca} es el año correspondiente al censo anterior y Ln el logaritmo natural o neperiano.

A continuación, se presentan los cálculos realizados en cada uno de los métodos para la población del corregimiento de Palermo.

Tabla 13. Proyección de población métodos Aritmético, Geométrico y Exponencial

AÑO	PROYECCIÓN ARITMÉTICA	PROYECCIÓN GEOMÉTRICA	PROYECCIÓN EXPONENCIAL
2024	583	583	583
2025	586	598	598
2026	588	613	613
2027	591	628	628
2028	593	644	644
2029	596	660	661
2030	598	676	677
2031	601	693	694
2032	603	710	712
2033	606	728	730
2034	608	746	749
2035	605	761	726
2036	607	776	741
2037	609	792	756
2038	611	808	771
2039	613	824	787
2040	615	840	803
2041	617	857	819
2042	619	874	836
2043	621	892	853
2044	603	901	712
2045	604	910	719
2046	605	919	726
2047	606	928	734
2048	607	937	741
2049	608	**947**	749

Fuente: La consultoría, 2023.

3.5 METODO DE PROYECCIÓN SELECCIONADO

De acuerdo, a las proyecciones realizadas y el comportamiento poblacional analizando con los tres métodos, el que más se adecua es el MÉTODO GEOMÉTRICO, con una población proyectada de 947 habitantes, a un horizonte de 25 años, por consiguiente, será insumo para proyección de caudales y a su vez el dimensionamiento hidráulico.

3.5.1 Dotación Neta

En la evaluación de las dotaciones netas de agua (consumos) para el sector se pueden tener tantas dotaciones como usos de agua existan. Los usos serán mencionados a continuación:

Residencial, comercial, industrial, institucional, servicios recreativos, comunitarios, escuelas urbanas y/o rurales, todos los cuales deberán ser considerados en la evaluación de dotaciones y demandas de agua. Sin embargo, es una práctica común de la ingeniería hidráulica que en sistemas donde el consumo de uso residencial represente más del 90% del consumo total, el cálculo de la demanda de agua se realice únicamente a partir de la dotación neta residencial sumando a esta un pequeño porcentaje que tenga en cuenta los otros usos agrupados, como es el caso de los abrevaderos para beber aguas los animales, lo cual no se debe utilizar agua tratada para este uso.

Entonces, para el caso de los usuarios de la zona urbana, los usos del agua se estiman como residenciales, instituciones y comerciales, por tanto, para asignar un criterio de demanda para el caso de Dotación Neta Residencial esta asignación debe hacerse dentro de los valores máximos y mínimos descritos por la Resolución 0330 del 08 de julio de 2017, la cual se transcribe a continuación:

Tabla 14 Dotación neta residencial según el nivel de complejidad del sistema.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Resolución 0330 del 08 de julio de 2017.

Según el proyecto por estar a una altura mayor de 2000 msnm, se utiliza una dotación neta máxima de 120 litros/hab.-día de consumo.

3.5.2 Tiempo de Concentración

Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, es decir, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de esta.

Tabla 15 Calculo del Tiempo de Concentración Tc

ZONA HIDROGRAFICA			
Cálculo Tiempo de concentración (Tc)			
Pendiente S(%)			54.40%
Longitud axial cuenca (km)			1.01
Fórmula Temez (Tc)			
$T_c = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$			
Tc(hr)	0.34	Tc(min)	20.36

Fuente: Elaboración propia a partir de los parámetros de diseño

Con este valor se puede asumir que el área tributaria tardará 20 minutos aproximadamente para empezar a aportar en su totalidad el caudal de aguas generado después de un evento de precipitación.

3.5.3 Determinación de la intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se define a partir de las curvas IDF de precipitación es registradas por el IDEAM en las estaciones pluviométricas ubicadas en la corriente o zonas cercanas; para el cálculo de intensidad se emplea el tiempo de concentración calculado anteriormente y la curva de tiempo de retorno establecida según el tipo de obra, a continuación, se relacionan los períodos de retorno empleados para los proyectos viales.

Tabla 16 Periodos de retorno de diseño para tramos de alcantarillado

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

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2017

Como se puede apreciar el tiempo recomendado para el diseño de las obras de drenaje vial es de cinco años, sin embargo, considerando que el área a drenar es más amplia que la misma superficie vial se considera emplear 10 años como tiempo de retorno.

A continuación, se expone el cálculo efectuado para determinar la intensidad del centro poblado del corregimiento de Palermo.

Tabla 17 Intensidad para eventos de modelación ALC

Tc[min]	20.36
Pmáx [mm]	80.50

T (años)	Intensidad (mm/h)	Observaciones
5	97.84	Intensidad para modelación alcantarillado por condiciones normativa Resolución 0330 de 2017
50	148.09	Intensidad para modelación alcantarillado ante crecientes en periodos de retornos
100	167.77	

FÓRMULA DE INTENSIDAD

Por Vargas & Díaz Granados (1998)

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

i: Intensidad de precipitación [mm/h]
T: Periodo de retorno [años]
M: Precipitación máxima promedia anual en 24 horas a nivel multianual
t: Duración de la lluvia [min] Tiempo de concentración de la zona de aportación
a , b , c , d : Parámetros regionalizados de ajuste de la regresión

Parametos regionalizados de ajuste

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Parámetros para la zona de estudio	***a***	***b***	***c***	***d***
	0.94	*0.18*	*0.66*	*0.83*

Fuente: Elaboración propia a partir
Calculo de Intensidad

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Entonces,

$$\mathrm{i} = \frac{0.94 \ * (5^{0,18}) * (80.50^{0,83})}{(\frac{20.26}{60})^{0.83}}$$

De acuerdo con los valores determinados de tiempo de concentración y tiempo de retorno se procede al cálculo de la intensidad de precipitación:

Intensidad= 97.84 mm/hora

Con la de precipitación intensidad calculada es que se procede a realizar la evaluación de caudal escurrimiento.

3.5.4 Coeficiente de Escurrimiento (C)

Se determina el valor del coeficiente de escurrimiento (C), usando el promedio de los coeficientes C1, C2 y C3 que se calcularan a continuación.
Se calcula el promedio del coeficiente C:

$$\mathrm{C}= \frac{C1+C2+C3}{3}$$

Para el cálculo del coeficiente C1, se usará la tabla 10, donde se tendrán en cuenta las características de la topografía, suelo y cobertura de la microcuenca.

El terreno es accidentado con pendiente de 4%, con suelo arcilloso arenoso y la cobertura es principalmente bosques.

Tabla 18 Determinación del coeficiente C1

FACTOR CLASIFICACION	VALORES DE C
TOPOGRAFIA	
Terreno plano, con pendiente de 0.15%	0.30
Terreno ondulado, con pendiente de 0.20%	0.20
Terreno accidentado con pendiente de 4%	0.10
SUELO	
Arcilloso firme	0.10
Arcilloso arenoso	0.20
Arcilloso arenoso suelto	0.40
COBERTURA	
Terrenos cultivados	0.10
Bosques	0.20

El terreno es accidentado con pendiente de 4%, con suelo arcilloso arenoso y la cobertura es principalmente bosques.

C1 = 1− (CTOP + CSUE + CCOB)
C 1 = 1 – (0.10 + 0.20 + 0.20)
C1 = 0.50

El terreno es accidentado con pendiente de 4%, con suelo arcilloso arenoso y la cobertura es principalmente bosques.

Luego de calcular C1, se procede a calcular C2 teniendo en cuenta que la microcuenca en su mayoría está compuesta de bosques con una topografía accidentada y un tipo de suelo del scs arcilloso-arenoso firme.

Tabla 19 Valores para determinar el coeficiente C2

TOPOGRAFIA	TIPO DE SUELO DEL SCS	VALORES DE C SEGUN LA CUBIERTA VEGETAL	
		CULTIVO	BOSQUE
LLANA	Arcilloso firme impenetrable (D)	0.50	0.40
	Arcillo-arenoso firme (C y B)	0.40	0.30
	Arcillo-arenoso abierto (A)	0.20	0.10
ONDULADA	Arcilloso firme impenetrable (D)	0.60	0.50
	Arcillo-arenoso firme (C y B)	0.50	0.40
	Arcillo-arenoso abierto (A)	0.30	0.20
ACCIDENTADA	Arcilloso firme impenetrable (D)	0.70	0.60
	Arcillo-arenoso firme (C y B)	0.60	0.50
	Arcillo-arenoso abierto (A)	0.40	0.30

Por tanto, **C_2=0.50**

Tabla 20 Valores para determinar el coeficiente C3

Tipo de suelo (SCS)	P_{120}^{360} (mm)	C para áreas, en Km^2				
		≤ 0.1	0.1-1	1-10	10-100	> 100
Tipo (D)	≤ 80	0.80	0.70	0.65	0.65	0.60
	81-150	0.90	0.85	0.80	0.80	0.80
	151- 200	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90
	> 200	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
Tipo (C)	≤ 80	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45
	81-150	0.85	0.80	0.75	0.65	0.65
	151- 200	0.85	0.85	0.80	0.70	0.70
	> 200	0.90	0.90	0.80	0.75	0.75
Tipo (B)	≤ 80	0.55	0.55	0.45	0.35	0.20
	81-150	0.65	0.63	0.56	0.45	0.30
	151- 200	0.75	0.70	0.65	0.55	0.40
	> 200	0.80	0.75	0.70	0.65	0.50
Tipo (A)	≤ 80	0.35	0.28	0.20	0.20	0.15
	81-150	0.45	0.35	0.25	0.25	0.20
	151- 200	0.55	0.45	0.40	0.35	0.30
	> 200	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40

Posterior junto con la clasificación del tipo y uso del suelo correspondiente al grupo A, se obtiene el valor de C3, el cual corresponde a 0.63.
Por tanto, C3=0.63
Una vez conocido los valores de los coeficientes, se calcula el promedio del coeficiente C:

$$C=\frac{C1+C2+C3}{3}$$

$$C=\frac{0.50+0.50+0.63}{3}$$

$$C=0.54$$

El valor del coeficiente de escorrentía (C), es de **0.54** para la zona aportante al alcantarillado pluvial

3.5.5 Diámetro

A través de cálculos sucesivos, se establece el diámetro óptimo necesario para transportar fluidos y satisfacer las condiciones de flujo en el tramo existente.

3.5.6 Pendiente del terreno y velocidad

La pendiente del terreno y la velocidad están ligadas, pues una depende de la otra. Se busca que en los tramos del alcantarillado no se presente velocidades bajas para provocar sedimentación y taponamiento de las tuberías. Se controla la máxima velocidad para evitar deterioro y rompimiento de las tuberías.

3.5.7 Colector

Conducto cerrado de sección circular, generalmente va enterrado.

3.5.8 Estructura de caída

Construida para establecer una diferencia apreciable entre las cotas bateas de colectores de entrada y salida.

3.5.9 Cota de batea

Elevación del punto más bajo interno de la sección transversal de un colector.

3.5.10 Cota de rasante

Es la elevación del punto exterior de la tapa de la estructura del pozo.

3.5.11 Cota de fondo

Es la elevación del punto en el lecho de la zanja.

3.5.12 Cota Clave

Es la elevación del punto más alto interno de la sección transversal de un colector.

3.5.13 Pozos de inspección

Se construyen para unir varios colectores, permitiendo los cambios de dirección, pendientes, ventilación y finalmente para introducir los equipos de limpieza.

3.5.14 Tramo

Conducto comprendido entre dos estructuras o pozos de inspección.

3.5.15 Numero de Froude

El número de froude indica el tipo de flujo que se está presentando en el tubo.

3.5.16 Coeficiente de Rugosidad de Manning

El coeficiente se determina de acuerdo con la textura superficial de los conductos, es decir el material del cual estén fabricados.

3.5.17 Relaciones hidráulicas de los conductos

Cuando una tubería transporta un caudal inferior al que es capaz de conducir a tubo lleno en condiciones forzadas, es necesarios determinan la profundidad de la lámina de agua y tener en cuenta las relaciones hidráulicas presentadas van en función de q/Q donde:

q = caudal de diseño
Q = caudal a tubo lleno

3.6 TIPOS DE SISTEMA DE DRENAJE

SISTEMAS CONVENCIONALES

Son sistemas tradicionales utilizados para la recolección y el transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final, los tipos de sistemas convencionales son el alcantarillado separado y el alcantarillado combinado. En el primero, las aguas residuales y las pluviales son recolectadas y transportadas mediante sistemas independientes, denominados alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial; mientras que, en tipo combinado, las aguas residuales y las pluviales se recolectan y transportan en un mismo sistema.

3.7 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL

Dentro del planeamiento y diseño conceptual las redes de alcantarillado sanitario se trabajan en forma detallada en el dimensionamiento hidráulico de las tuberías colectoras necesarias en el área por drenar, con el fin de determinar el diámetro interno mínimo admisible que cumple con las condiciones impuestas por las descargas de caudal que realizan los usuarios del sistema. Los principales parámetros de diseño asociados con estas condiciones son:

- DIÁMETROS MÍNIMOS POR TIPO DE TUBERÍAS COLECTORAS

El Diámetro nominal se define como un número simple que sirve para clasificar, en dimensiones, los elementos de tubería, conexiones, aparatos etc. El diámetro nominal no debe ser utilizado para fines de cálculo, el cálculo hidráulico debe ser realizado con los diámetros internos reales.

- CONEXIONES DOMICILIARIAS

Es la tubería que transporta las aguas residuales desde la caja domiciliaria hasta un colector secundario. En un sistema convencional su diámetro nominal puede llegar a reducirse has 100 mm (4 pulgadas). En este proyecto se implementará un diámetro de tubería de 140 mm (6 pulgadas).

- COLECTOR PRINCIPAL O MATRIZ

Conductor cerrado, sin conexiones domiciliarias directas, que recibe los caudales de los tramos o colectores secundarios, Su diámetro estará en función del tamaño de la red secundaria de drenaje que reciba.

3.7.1 Periodo de planeamiento y diseño conceptual

Para este proyecto, de acuerdo con la resolución 330 de 2017, se define 25 años para la proyección del sistema del alcantarillado.

3.7.2 Caudal de diseño de aguas residuales

Para la estimación del caudal de diseño de aguas residuales se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

3.7.2.1 Contribuciones de aguas residuales domésticas y otros usos

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Su estimación se basa en información histórica de consumos, mediciones periódicas y evaluaciones regulares, Para su estimación deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

3.7.2.2 Aguas Residuales Domesticas (QD)

Se debe estimar para las condiciones iniciales Qdi, y finales Qdf de operación del Sistema. La segunda alternativa de la ecuación D.3.1 es recomendable para el nivel de complejidad bajo del sistema.

Estimación del Consumo medio diario por habitante (C): Corresponden a la Dotación

neta, es decir a la cantidad de agua que el usuario del servicio de alcantarillado efectivamente consume para satisfacer sus necesidades. La dotación neta depende del Nivel de complejidad del sistema.

Estimación de la densidad Habitacional (D): Los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales deben diseñarse para la máxima densidad de la población futura o de saturación.

Estimación de la Población servida (P): La población servida puede ser estimada como el producto de la densidad de población (D) y el área residencial Bruta acumulada de drenaje sanitario (Ard), también puede ser estimada a partir del producto De viviendas estimadas en el área de drenaje y el número promedio de habitantes por viviendas. Estimación del Coeficiente de retorno de aguas residuales (R): El Coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico consumida, entregada como agua servida al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Para el proyecto se toma un Coeficiente de Retorno de **0.85.**

3.7.2.3 Aguas Residuales Comerciales (Qc)

Para zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales QC, debe estar justificado con uso de suelos.

El caudal de aguas residuales domésticos comerciales no se tuvo en cuenta debido a que la mayor parte de la población es residencial y las actividades comerciales son pequeñas.

3.7.2.4 Aguas Residuales Institucionales (QIN)

El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de estas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios, universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales deben determinar en para cada caso en particular.

3.7.2.5 Caudal medio Diario de aguas Residuales

QMD = QD + QI + QC + QIN

3.7.2.6 Caudal máximo horario

El factor de mayoración utilizado en la estimación del caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en las cuales se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población. En ausencia de datos de campo, se debe

estimar con las ecuaciones aproximadas, teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad. Este valor deberá estar entre 1,4 y 3,8.

3.7.2.7 Conexiones erradas (Qce)

Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0,2 l/s.ha.

3.7.2.8 Caudales de Infiltración (QINF)

El caudal de infiltración debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva. Ante la ausencia de información, se debe utilizar un factor entre 0,1 y 0,3 l/s.ha, de acuerdo con las características topográficas, de suelos, los niveles freáticos y la precipitación de la zona del proyecto. Para situaciones en las cuales el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red, el caudal de infiltración podrá excluirse como componente del caudal de diseño. Para este caso se implementa 0.30 L/S*Ha.

3.7.2.9 Caudal de Diseño de aguas Residuales

QDT = QMH + QINF + QCEf

Este caudal es el correspondiente a las contribuciones acumuladas que llegan al tramo hasta el pozo de inspección inferior. Cuando el caudal de diseño sea inferior a 1.5 L/s debe adoptarse este valor como caudal de diseño de alcantarillado sanitario. En el modelo adicionalmente se analizan las condiciones iníciales para verificar las condiciones de autolimpieza.

3.7.2.10 Caudal de aguas lluvias

La estimación de los caudales de aguas lluvias para el diseño de colectores y canales se debe realizar mediante modelos lluvia - escorrentía, basados en modelos de abstracciones. Se puede utilizar el método racional, siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a 80 ha. Para su estimación, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Período de retorno. El período de retorno de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que las

inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura. En ningún caso podrán ser menores que los valores mostrados en la tabla 21.

Tabla 21 Periodos de retorno para tramos de alcantarillado

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

3.7.2.11 Caudal de aguas combinadas

El caudal de diseño de las redes de alcantarillado combinados es igual al caudal de aguas lluvias. Sin embargo, cuando el caudal de aguas residuales es mayor que el 5% del caudal de aguas lluvias, debe tomarse como caudal de diseño la suma de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias. En este caso, el caudal de aguas residuales no incluye el caudal de conexiones erradas.

3.7.2.12 Diseño hidráulico

Los colectores deben diseñarse como conducciones a flujo libre por gravedad, el flujo de aguas residuales o pluviales en una red de alcantarillado para su recolección y evacuación no es permanente, Sin embargo, el dimensionamiento hidráulico de sección de un colector puede hacerse suponiendo que el flujo de este es uniforme.

Para el análisis y modelación del sistema de alcantarillado se utilizó la fórmula Matemática de Manning.

Tabla 22 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para varios materiales

MATERIAL CONDUCTOS CERRADOS	*n*
Asbesto-cemento	*0,011-0,015*
Concreto prefabricado interior liso	*0,011-0,015*
Concreto prefabricado interior rugoso	*0,015-0,017*
Concreto Fundido en sitio, formas lisas	*0,011-0,015*
Concreto Fundido en sitio, formas rugosas	*0,015-0,017*
Gres Vitrificado.	*0,011-0,015*
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	*0,011-0,015*
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	*0,010-0,015*
Metal corrugado	*0,022-0,026*
Colectores de ladrillo	*0,013-0,017*

Fuente: Rugosidad – López Cualla

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) * R^{2/3} * S^{1/2}$$

n: Coeficiente de Rugosidad, el cual puede ser seleccionado según el material del conducto de la siguiente tabla.
S: Pendiente de la tubería
R: Radio del conducto.

3.7.2.13 VELOCIDAD Y PENDIENTE MÍNIMA

La velocidad mínima real permitida para evitar la sedimentación dentro de un colector de alcantarillado sanitario del tipo convencional es de 0,45 m/s.

3.7.2.14 VELOCIDAD Y PENDIENTE MÁXIMA

La velocidad máxima real en un colector sanitario que funciona por gravedad no debe sobrepasar 5 m/s.

3.7.2.15 PROFUNDIDAD HIDRÁULICA REAL

Profundidad máxima de flujo de 0,85 Diámetro y mínima de 0,20 Diámetro.

3.7.2.16 PROFUNDIDAD MÍNIMA A LA COTA CLAVE

Para los tres tramos se maneja profundidad mínima de 1.20 m teniendo en cuenta que los trazados de la red van por las vías.

3.7.2.17 PROFUNDIDAD MÁXIMA A LA COTA CLAVE

En general, la máxima profundidad de instalación de los colectores con relación a la rasante definitiva de la vía o andén, bajo la cual están trazados, es del orden de 5 m y esta es condicionada por la carga muerta del relleno.

3.7.2.18 DIÁMETRO MÍNIMO

En las redes de recolección y evacuación de aguas residuales, y principalmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para los colectores. El diámetro nominal mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales es 200 mm (8 pulgadas) con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grandes introducidos al sistema, Cuando se pretende evacuar las aguas residuales de 10 viviendas en adelante, es recomendable utilizar como diámetro mínimo 200 mm (8 plg).

3.7.2.19 DISTANCIAS MÍNIMAS A OTRAS REDES

Las distancias mínimas libres entre los colectores que conforman la red de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias y las tuberías de otras redes de servicios públicos se presentan a continuación. En los planos del proyecto debe indicarse la posición relativa de las redes de alcantarillado, alcantarillado, energía y comunicaciones.

Las distancias mínimas libres entre los colectores que conforman la red del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales y las tuberías de otras redes de servicios públicos son 1,0 m en la dirección horizontal y 0,50 m en la dirección vertical.

3.8 CAUDAL PLUVIAL

3.8.1 Áreas de drenaje

El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.

3.8.2 Caudal de diseño

Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. La ecuación del método racional es:

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

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y éste es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad i de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.

El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el primer punto anterior.

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 700 ha. Cuando son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos lluvia escorrentía que representen mejor los hietogramas de precipitación e hidrogramas de respuesta de las áreas de drenaje y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de las ondas dentro de la red de colectores. En estos casos, es necesario justificar el método de cálculo

3.8.3 Periodo de retorno de diseño

El periodo de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de

protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado. Se establecen valores de periodos de retorno o grado de protección.

3.8.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.

Para áreas de drenaje que incluyan subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

$$C = \frac{\sum C \cdot A}{\sum A}$$

Para la estimación de C existen tablas de valores y fórmulas, algunas de las cuales se presentan en la tabla siguiente como guía para su selección.

Tabla 23 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

Tipo de superficie	*C*
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,7
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente	0,4
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,3
Laderas sin vegetación	0,6
Laderas con vegetación	0,3
Parques recreacionales	0,20-0,35

3.8.5 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector

$$T_C = T_e + T_t$$

3.8.6 TIEMPO DE ENTRADA, Te

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de entrada. La ecuación de la FAA de los Estados Unidos se utiliza frecuentemente para la escorrentía superficial en áreas urbanas. Esta ecuación es

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

Te = tiempo de entrada (m/s)
C = coeficiente de escorrentía (función de la permeabilidad del área de drenaje). L = longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)
S = pendiente promedio entre el punto más alejado y el colector (m/m)

La fórmula de Kerby también permite estimar Te

$$T_e = 1.44 \cdot \left(\frac{Lm}{S^{1/2}} \right)^{0.467}$$

Donde:
L = longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).
S = pendiente promedio entre el punto más alejado y el colector (m/m) m= coeficiente de retardo
m puede ser estimado a partir del tipo de superficie, con base en los valores de la tabla siguiente.

Tabla 24 Coeficiente de retardo

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

El Soil Conservation Service (SCS) propone estimar Te con base en la velocidad media de escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la distancia de recorrido

$$T_e = \frac{L}{60 \cdot V_s}$$

Vs puede aproximarse por

$$V_s = a \cdot S^{1/2}$$

Donde a es una constante que depende del tipo de superficie, tal como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 25 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	6,50

3.8.7 TIEMPO DE RECORRIDO, Tt

El tiempo de recorrido en un colector se puede calcular como

$$T_t = \frac{L_C}{60 \cdot V}$$

Donde:
Lc= longitud del colector m
V = Velocidad media en el colector m/s
Dado que Tt debe corresponder a la velocidad real del flujo en el colector, el tiempo de concentración puede determinarse mediante un proceso iterativo, tal como se describe a continuación:

Suponer un valor de la velocidad real en el colector.
Calcular Tt.
Calcular Te.
Obtener Tc.
Obtener i para este valor de Tc y el periodo de retorno adoptado. Estimar Q con el método racional.

Con este valor de Q, estimar Tt real; si el valor de Tt estimado en el paso 2 difiere en más de 10% por defecto o exceso con respecto al valor calculado en el paso 7, es necesario repetir el proceso.

El tiempo de concentración mínimo en pozos iníciales es 10 minutos y máximo 20 minutos. El tiempo de entrada mínimo es 5 minutos.

Si dos o más colectores confluyen a la misma estructura de conexión, debe considerarse como tiempo de concentración en ese punto el mayor de los tiempos de concentración de los respectivos colectores.

3.8.8 Diámetro mínimo

En las redes de recolección y evacuación de aguas lluvias, y principalmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para los colectores. El diámetro nominal mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es **300 mm (12 pulgadas)** con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grandes introducidos al sistema.

3.8.9 Aporte de sedimentos

La recolección de aguas lluvias necesariamente implica también la captación de material granular y coloidal que la escorrentía superficial transporta. Igualmente, pueden captarse lodos provenientes de conexiones erradas sanitarias. Las características granulométricas de estos aportes sólidos dependen de las condiciones topográficas, tipo de suelos, protección de éstos con la cobertura vegetal y erosividad

de la lluvia, entre otros factores. Es necesario entonces identificar el tipo de material que las áreas de drenaje pueden aportar a los colectores, haciendo énfasis en el componente granular, pues éste determina en buena parte los requisitos de autolimpieza de los colectores, evacuación de lodos y la necesidad de construir desarenadores estratégicamente ubicados antes del ingreso de las aguas lluvias a la red de colectores. Además, es necesario hacer una evaluación de posibles elementos extraños que puedan ingresar al sistema pluvial, en particular por actividades antrópicas y comportamientos específicos de sectores de la población.

3.8.10 Velocidad mínima

Las aguas lluvias transportan sólidos que pueden depositarse en los colectores si el flujo tiene velocidades reducidas. Por lo tanto, debe disponerse de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo. Para esto se establece la velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,75 m/s para el caudal de diseño.

En cada tramo debe verificarse el comportamiento auto limpiante del flujo, para lo cual es necesario utilizar el criterio de esfuerzo cortante medio. Se establece, por lo tanto, que el valor del esfuerzo cortante medio sea mayor o igual a 3,0 N/m2 (0,3 Kg/m2) para el caudal de diseño, y mayor o igual a 1,2 N/m2 (0,12 Kg/m2) para el 10% de la capacidad a tubo lleno.

3.8.11 Velocidad máxima

Los valores máximos permisibles para la velocidad media en los colectores dependen del material, en función de su sensibilidad a la abrasión. Los valores adoptados deben estar plenamente justificados por el diseñador en términos de la resistencia a la abrasión del material, de las características abrasivas de las aguas lluvias, de la turbulencia del flujo y de los empotramientos de los colectores. Valores típicos de velocidad máxima permisible para algunos materiales se presentan en la tabla 26. Valores superiores requieren una justificación técnica y aprobación de la empresa prestadora del servicio.

Tabla 26 Velocidades máximas permisibles.

Tipo de material	V (m/s)
Ladrillo común	3,0
Ladrillo vitrificado y gres	5,0
Concreto	5,0
PVC	10,0

3.8.12 Pendiente mínima alcantarillados pluviales

El valor de la pendiente mínima del colector debe ser aquel que permita tener condiciones de auto limpieza, cumpliendo con la velocidad mínima.

3.8.13 Pendiente máxima alcantarillados pluviales

El valor de la pendiente máxima admisible es aquella para la cual se tenga una velocidad máxima real.

3.8.14 Profundidad hidráulica máxima

La profundidad hidráulica máxima en colectores de aguas lluvias puede ser la correspondiente a flujo lleno.

3.8.15 Profundidad mínima a la cota clave

La profundidad mínima a la cota clave de los colectores de aguas lluvias deben seguir los siguientes requisitos:

Los colectores de redes de recolección y evacuación de aguas lluvias deben estar a una profundidad adecuada para permitir el drenaje por gravedad, aceptando una pendiente mínima de éstas de 2%. Además, el cubrimiento mínimo del colector debe evitar la ruptura de éste, ocasionada por cargas vivas que pueda experimentar. Los valores mínimos permisibles de cubrimiento de los colectores se definen en la siguiente tabla.

Tabla 27 Profundidad mínima de colectores

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

Para casos especiales como localidades con evidentes problemas de drenaje los valores anteriores pueden reducirse haciendo las previsiones estructurales y geotécnicas correspondientes.

3.8.16 Profundidad máxima a la cota clave

La máxima profundidad de los colectores de aguas lluvias debe seguir los siguientes parámetros:

En general la máxima profundidad de los colectores es del orden de 5 m, aunque puede ser mayor siempre y cuando se garanticen los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales y colectores durante (y después de) su construcción, para lo cual deben considerarse las disposiciones del fabricante.

Los cruces subterráneos de lagos, ríos y corrientes superficiales deberán acompañarse de un diseño apropiado e idóneo que justifique las dimensiones, los atraques y las profundidades empleadas y deberán proveerse de medios para impedir su destrucción por efectos de la socavación de la corriente atravesada.

3.8.17 Sumideros

Son estructuras para la captación de la escorrentía superficial, que pueden ser diseñadas en forma lateral o transversal al sentido del flujo, y se localizan en las vías vehiculares o peatonales del proyecto.

3.8.18 Consideraciones para su proyección

La capacidad de recolección de aguas lluvias del conjunto de sumideros de un sistema pluvial o combinado debe ser consistente con la capacidad de evacuación de la red de colectores para garantizar que el caudal de diseño efectivamente llegue a la red de evacuación.

Los sumideros deben ubicarse en los cruces de las vías, de tal manera que intercepten las aguas antes de las zonas de tránsito de los peatones y en los puntos intermedios bajos. Los siguientes son algunos criterios para su ubicación:

- Puntos bajos y depresiones.
- Reducción de pendiente longitudinal de las calles.
- Antes de puentes y terraplenes.
- Preferiblemente antes de los cruces de calles y pasos peatonales.
- Captación de sedimentos.

3.8.19 Parámetros de diseño

El dimensionamiento de la tubería de conexión del sumidero al sistema de alcantarillado ya sea un pozo o fuentes receptoras, debe tener un diámetro mínimo de 250 mm, pendiente superior al 2% y, en general, no debe tener una longitud mayor de 15 m. Para este proyecto se considera utilizar el diámetro mínimo de 10” PVC NOVAFORT.

3.8.20 Clasificación de los sumideros

Sumideros de ventana o acera Sumideros de reja o calzada Sumideros mixtos o combinado Sumideros Especiales.

Los cálculos del alcantarillado combinado se aprecian posterior a este informe tanto para alcantarillado combinado.

4. MODELACIÓN HIDRÁULICA ALCANTARILLADO PROYECTADO DEL CENTRO POBLADO DEL CORREGIMIENTO DE PALERMO

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. BIBLIOGRAFÍA