UNIÓN TEMPORAL
ECOSYGMA

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION DE OBRAS DEL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO FASE II (INCLUYE PSMV) DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ SEGÚN CONVENIO EPC-CI-008-2025

CONTRATO DE CONSULTORIA No. CM-252-2025

SUSCRITO ENTRE EL MUNICIPIO DE GACHETÁ Y LA UNION TEMPORAL ECOSYGMA

UNIÓN TEMPORAL ECOSYGMA

INFORME DE DISEÑO HIDRAULICO – RED DE ALCANTARILLADO ITALIA 90

INF_ALC_IT90 _GTA_V2

BOGOTÁ, JUNIO DE 2026

CONTROL DE REVISIONES

CONSULTORÍA

ESTADO DE REVISIÓN				
VERSIÓN	**OBJETO**	**FECHA DE ENTREGA A OBJETO**	**ELABORADO POR**	**CARGO**
1	Producto 1			Especialista Consultoría
FIRMA				

INTERVENTORÍA

ESTADO DE REVISIÓN				
VERSIÓN	**OBJETO**	**FECHA DE ENTREGA A OBJETO**	**ELABORADO POR**	**CARGO**
1	Producto 1			Especialista Interventoría
FIRMA				

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 6
2 OBJETIVOS 7
2.1 Objetlvo general 7
2.2 objetivos especificos 7
3 GENERALIDADES 8
3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 8
4 POBLACION Y DEMANDA 10
4.1 Cálculo de demandas 11
4.1.1 Cálculo de aguas residuales domesticas 11
4.1.2 Cálculo de aguas residuales no domésticas 12
5 Criterios y parametros alcantarillado 19
5.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ALCANTARILLADOS SANITARIO 19
5.1.1 Diámetro mínimo 19
5.1.2 Velocidad mínima 19
5.1.3 El esfuerzo cortante medio 19
5.1.4 Velocidad máxima 19
5.1.5 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios. 20
5.1.6 Profundidad mínima a la cota clave 20
5.1.7 Diseño hidráulico 20
5.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO. 25
5.2.1 Pozos de inspección 25
5.2.2 Cámaras de caída. 25
6 diagnostico situacional del sistema de alcantarillado 27
6.1 Resultados de la modelación 28
6.1.1 Esfuerzo tractivo 29
6.1.2 Velocidad máxima 29
6.1.3 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios. 30
6.1.4 Profundidad mínima de instalación en alcantarillados. 31

7 DISEÑO HIDRAULICO ALCANTARILLADO SANITARIO 33

7.1 Modelo hidráulico 34

7.1.1 Resultados de la modelación 37

7.1.2 Esfuerzo tractivo 37

8.2.1 Velocidad máxima 38

7.1.3 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios. 38

8 CONCLUSIONES 42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros iniciales cálculo población periodo de diseño....10
Tabla 2. Proyección población....10
Tabla 3. Áreas delimitadas del área de servicio....16
Tabla 4. Parámetros de diseño para el cálculo de caudales sanitarios....17
Tabla 5. Cálculos caudales sanitarios municipio de Gachetá.....17
Tabla 6. Distribución áreas alcantarillado sanitario sector Italia 90.....17
Tabla 7. Caudales alcantarillado sanitario sector Italia 90.....18
Tabla 9. Profundidad a las cotas claves del colector....20
Tabla 10. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning - Colectores y drenajes de aguas residuales domésticas y aguas lluvias....22
Tabla 11. Diámetro interno mínimo de estructuras de conexión.....23
Tabla 12. Valores del coeficiente Kc....24
Tabla 13. Diámetro interno mínimo de la estructura de conexión....25
Tabla 14. Diámetro de la cámara de caída en función del diámetro de la tubería de entrada....26
Tabla 15. Tramos alcantarillado sanitario Italia 90....27
Tabla 16. Pozos alcantarillado sanitario Italia 90.....27
Tabla 17. Cálculo caudales sistema alcantarillado sanitario sector Italia 90....28
Tabla 18. Resultados hidráulicos alcantarillado sanitario sector Italia 90....32
Tabla 19. Resultados modelación diseño alcantarillado Italia 90....40
Tabla 20. Resultados modelo diseño alcantarillado Italia 90....41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización municipio de Gachetá....8
Ilustración 2. Ubicación sector Italia 90, municipio de Gachetá, Cundinamarca....9
Ilustración 3. Usos del suelo casco urbano Gachetá, Cundinamarca....16
Ilustración 4. Distribución de áreas de drenaje actual....18
Ilustración 4. Evaluación de esfuerzo cortante escenario futuro....29
Ilustración 5. Evaluación de velocidad máxima escenario futuro....29
Ilustración 6. Evaluación de relación de llenado escenario futuro....30
Ilustración 7. Resultados recubrimiento salida y llegada tuberías.....31
Ilustración 8. Red sanitaria Italia 90 proyectada....33
Ilustración 9. Perfil longitudinal sistema sanitario proyectado....33
Ilustración 11. Topología redes de alcantarillado....35
Ilustración 12. Evaluación de esfuerzo cortante escenario futuro....37
Ilustración 13. Evaluación de velocidad máxima escenario futuro....38
Ilustración 14. Evaluación de relación de llenado escenario futuro....39

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del contrato de consultoría No. CM-252-2025, suscrito entre el municipio de Gachetá y la Unión Temporal Ecosygma con objeto “ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCION DE OBRAS DEL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO FASE II (INCLUYE PSMV) DEL MUNICIPIO DE GACHETÁ”, se presenta el informe de diseño hidráulico de alcantarillado.

El presente informe está dirigido a realizar el diseño hidráulico para el sistema de alcantarillado del sector Italia 90 en el municipio de Gachetá, Cundinamarca, en función de lo establecido en el contrato de consultoría No. CM-252-2025. De conformidad con el estricto cumplimiento de la Norma Ras 2000, su Decreto reglamentario 0330 de 2017, y todas aquellas normas que apliquen, así como las necesidades y limitaciones del municipio.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar los diseños hidráulicos de ingeniería de detalle de las obras proyectadas de la red de alcantarillado sanitario del sector denominado como “Italia 90” en el municipio de Gachetá, Cundinamarca, con el fin de establecer las condiciones técnicas necesarias para su futura construcción y adecuada articulación con el proyecto vial a cargo del ICCU Cundinamarca.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Dar cumplimiento a las especificaciones técnicas suministradas por las entidades competentes y bajo los parámetros de la Resolución 0330 de 2017, la Resolución 799 de 2021 y del Manual de Buenas Prácticas del MVCT.

Definir el trazado de la red de alcantarillado sanitario proyectada para el sector Italia 90, considerando las condiciones topográficas, urbanísticas y viales del área de intervención.

Articular el diseño de alcantarillado sanitario con el proyecto de construcción de la vía a cargo del ICCU Cundinamarca, teniendo en cuenta que la rasante, el alineamiento vial y las condiciones de construcción condicionan la localización definitiva de la red.

3 GENERALIDADES

A continuación, se presentan algunos aspectos físicos del municipio, con el fin de obtener una radiografía del entorno municipal y de los elementos que pueden llegar a ser de utilidad para generar un diagnóstico adecuado.

3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

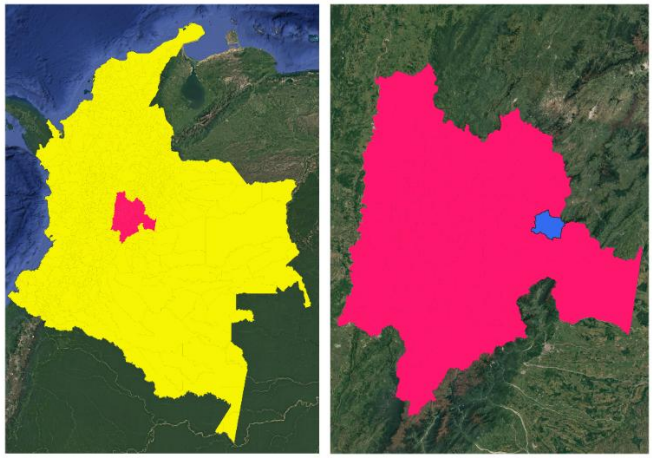
El municipio de Gachetá se localiza en el sector nororiental del departamento de Cundinamarca y forma parte de la provincia de Guavio, de la cual constituye su cabecera municipal. Se emplaza sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental colombiana, en un entorno de relieve predominantemente montañoso y quebrado, característico de esta región andina.

El municipio limita al norte con Ubalá y Gachalá; al oriente con Medina; al sur con Junín; y al occidente con Gama y Gachetá comparte límites con municipios de la misma provincia. Esta ubicación estratégica lo convierte en un centro de articulación territorial dentro del oriente cundinamarqués.

Gachetá presenta una altitud media aproximada de 1.700 m s. n. m., condición que favorece un clima templado con régimen bimodal de precipitaciones, caracterizado por dos periodos lluviosos y dos periodos relativamente secos durante el año. Estas condiciones climáticas e hidrogeomorfológicas influyen directamente sobre la dinámica hídrica superficial del territorio y sobre la disponibilidad de recursos hídricos para el abastecimiento de la población, así como en la generación de aguas residuales que deben ser gestionadas mediante sistemas adecuados de alcantarillado y tratamiento.

En la siguiente ilustración se presenta la localización general del municipio de Gachetá:

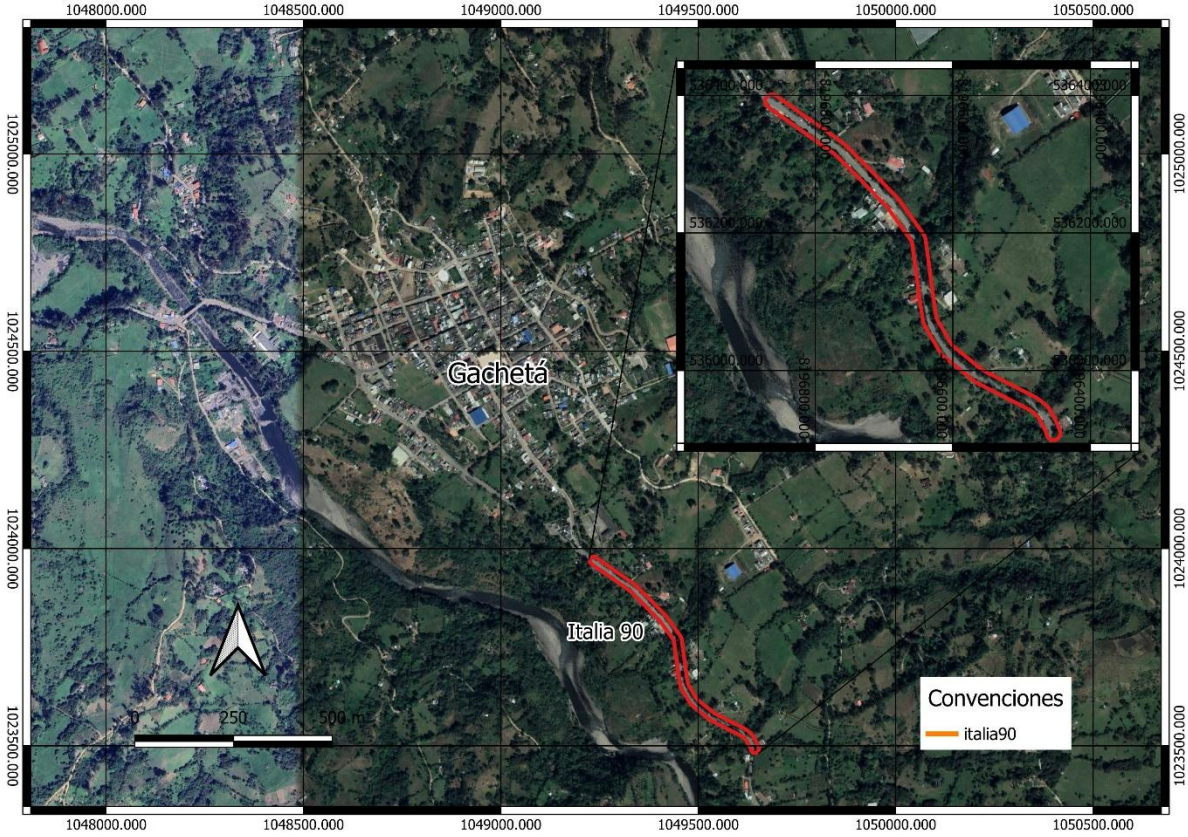
Ilustración 1. Localización municipio de Gachetá



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Por su parte, el sector denominado como “Italia 90”, se encuentra ubicado al sur oriente del municipio de Gachetá sobre la vía intermunicipal Gachetá – Ubalá (Ruta nacional 50), como se observa en la Ilustración 2. De acuerdo con la visita de campo realizada y las mesas de trabajo adelantadas en el municipio de Gachetá, se identificó que el corredor correspondiente al sector Italia 90 presenta una condición potencial de expansión urbana futura, constituyendo un criterio relevante para el diseño de la red de alcantarillado sanitario, dado que puede generar un incremento progresivo en el número de usuarios aportantes y, por consiguiente, en los caudales sanitarios conducidos por el sistema.

Ilustración 2. Ubicación sector Italia 90, municipio de Gachetá, Cundinamarca



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

4 POBLACION Y DEMANDA

Según la Resolución 0330 del 2017, para todos los componentes del sistema de alcantarillado se toma un periodo de diseño de 25 años. Para efectos del presente diseño, se adoptó como año inicial de operación el año 2029, correspondiente al periodo estimado para la entrada en funcionamiento de la infraestructura proyectada, y se definió un horizonte de diseño hasta el año 2053.

A partir de la población base y de las proyecciones demográficas adoptadas para el horizonte definido, se determinaron los caudales de diseño requeridos para la modelación hidráulica de la red.

Tabla 1. Parámetros iniciales cálculo población periodo de diseño

PERIODO DE DISEÑO	25	AÑOS
TOTAL POBLACIÓN	4,532	Habitantes
PERIMETRO URBANO SEGÚN EOT	96.13	Ha
MÉTODOLOGÍA PARA USO DE TASAS	TASA PROMEDIO	
INCREMENTO POBLACIÓN FLOTANTE CONSUMOS ACUEDUCTO	18.00%	
CASCO URBANO		
TASA SELECCIONADA PARA LA PROYECCIÓN	**GEOMÉTRICO**	
	1.76 %	

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 2. Proyección población

CASCO URBANO GACHETÁ			
POBLACIÓN			
AÑO	**GEOMÉTRICO**	**POBLACIÓN FLOTANTE**	**POBLACIÓN TOTAL**
2023	4,532	816	5,348
2024	4,612	831	5,443
2025	4694	845	5,539
2026	4777	860	5,637
2027	4861	875	5,736
2028	4947	891	5,838
2029	5034	907	5,941
2030	5123	923	6,046
2031	5213	939	6,152

CASCO URBANO GACHETÁ			
POBLACIÓN			
AÑO	GEOMÉTRICO	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN TOTAL
2032	5305	955	6,260
2033	5399	972	6,371
2034	5494	989	6,483
2035	5591	1007	6,598
2036	5690	1025	6,715
2037	5790	1043	6,833
2038	5892	1061	6,953
2039	5996	1080	7,076
2040	6102	1099	7,201
2041	6210	1118	7,328
2042	6319	1138	7,457
2043	6431	1158	7,589
2044	6544	1178	7,722
2045	6660	1199	7,859
2046	6777	1220	7,997
2047	6897	1242	8,139
2048	7019	1264	8,283
2049	7142	1286	8,428
2050	7269	1309	8,578
2051	7397	1332	8,729
2052	7527	1355	8,882
2053	7660	1379	9,039

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

4.1 CÁLCULO DE DEMANDAS

4.1.1 Cálculo de aguas residuales domesticas

El caudal de aguas residuales doméstico incluye exclusivamente las áreas residuales, que se determinará con base al Artículo 134 de la Resolución 330 de 2017 (*Modificado por el Art. 41, Resolución 799 de 2021),* por medio de la siguiente ecuación:

$$QD = \frac{CR * P * Dneta}{86400}$$

En donde:

QD= Caudal de aguas residuales domesticas (L/s)

CR= Coeficiente de retorno

Dneta= Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s*h)

P= Población

Estimación del coeficiente de retorno (CR): Es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Su estimación debe provenir del análisis de información existente de la localidad y/o de mediciones de campo, en vista que no se contaba con datos de campo, para el presente estudio se adoptará el valor estipulado en *la Resolución 0330 de 2017* de *CR = 0.85*

De acuerdo con el manual de buenas prácticas de la ingeniería en el Titulo B numeral 2.5.3 Dotación neta según el uso del agua, se establece que cuando existe una representatividad en el uso del agua residencial mayor al 90%, el cálculo del agua se puede realizar teniendo en cuenta únicamente la dotación neta residencial, sumándole a esta un porcentaje que tenga en cuenta los otros usos en una forma agrupada según los datos de consumo existentes.

4.1.2 Cálculo de aguas residuales no domésticas

- **Caudal Comercial (QC)**

Para zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales QC debe estar justificado con un estudio detallado, basado en consumos diarios por persona, densidades de población en estas áreas y coeficientes de retorno mayores que los de consumo doméstico.

Para zonas mixtas comerciales y residenciales pueden ponderarse los caudales medios con base en la concentración comercial relativa a la residencial, utilizando como base los valores 0,4 – 0,5 l/s*hab comercial.

- **Caudal Institucional (QIN)**

El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, etc. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales QIN deben determinarse para cada caso en particular, con base en información de consumos registrados en la localidad de entidades similares. Sin embargo, para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse a partir de los valores por unidad de área institucional (0.4 - 0.5 l/s*hab ind) QIN debe ser estimado para las condiciones iniciales, QINi, y finales, QINf, de operación del sistema, de acuerdo con los planes de desarrollo previstos.

- **Caudal Medio Diario (QMD)**

El caudal medio diario de aguas residuales (QMD) es la suma de los aportes domésticos, comerciales, industriales e institucionales.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_C + Q_I + Q_{IN}$$

- **Caudal por conexiones erradas (QCE)**

Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios, QCE. Según la Resolución 0330 de 2017 en el *Artículo 134* numeral 5 cita: *"los caudales por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente de la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0.2 l/s*ha".*

Para el presente proyecto se seleccionó el caudal por conexiones erradas en el máximo establecido de 0.2 l/s*ha por normatividad, tomando como área aferente a las cubiertas en cumplimiento con la Resolución 799 de 2021.

- **Caudal por infiltración (QINF)**

Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario. Su estimación debe hacerse en lo posible a partir de aforos en el sistema, en horas cuando el consumo de agua es mínimo, y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de los colectores, las dimensiones, estado y tipo de colectores, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de pozos de inspección y demás estructuras, y su calidad constructiva.

Según la **Resolución 799 de 2021** en el *Artículo 41. Modifica el Artículo 134* de la **Resolución 0330 de 2017**, el cual quedará así, se cita: *"Ante la ausencia de información se acepta que la infiltración se calcule con base en un factor de 0,1 L/s ha, aplicado al área de aferencia de infiltración del alcantarillado, entendida esta como el área de las calles del sector beneficiado con el sistema*", por lo cual para el presente calculo se establece un valor de **0.1 L/s ha considerado las áreas de vías.**

- **Caudal máximo horario (QMH)**

El caudal máximo horario del día máximo se estima a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración, F.

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

- **Factor de Mayoración (F)**

Según la resolución 0330 de 2017 en el artículo 134 numeral 4 cita "el factor de mayoración utilizado en la estimación de caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de

mediciones de campo, en los 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 pueden presentarse en su aplicabilidad. Se puede observar que los valores están dentro del rango permitido por la Resolución 0330 que recomienda que este entre 1.4 y 3.8.

El factor de mayoración (F) tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El valor de factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el consumo de agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada vez más a amortiguar los flujos.

Para poblaciones pequeñas pueden emplearse los factores de Babbit o de Harmon. En las ecuaciones siguientes, se plantea el caudal máximo horario en función de la población actual expresada en miles de habitantes.

Para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El valor del factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada vez más a amortiguar los flujos.

La estimación se puede realizar con base en relaciones aproximadas como las de Harmon y Babbit, válidas para poblaciones de 1.000 a 1’000.000 habitantes, y la de Flores, en las cuales se estima F en función del número de habitantes.

Harmon: es utilizado para poblaciones entre mil y un millón de habitantes.

$$F = 1 + \frac{14}{\left(4 + P^{0.5}\right)}$$

Babbit: es utilizado para poblaciones menores de 1.000 habitantes.

$$F = \frac{5}{P^{0.2}}$$

Flores: otro factor de mayoración recomendado por el Manual de Buenas Prácticas, es el de Flores en el cual se estima F en función del número de habitantes (P, en miles):

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}}$$

Gaines: La fórmula de Gaines debe ser aplicada para caudales medios entre 0,28 L/s y 4250 L/s

$$F = \frac{3.114}{QMD^{0.062}}$$

La fórmula de Los Ángeles es válida para el rango de 2,8 a 28300 L/s, mientras que la de Tchobanoglous lo es para el rango de 4 a 5000 L/s. Esta última relación es adecuada cuando la contribución de aguas residuales de procedencia comercial, industrial e institucional no representa más del 25% del caudal total de aguas residuales.

El factor de mayoración también puede ser dado en términos del caudal medio diario como en las fórmulas de Los Ángeles o la de Tchobanoglous.

Los Ángeles $$F = \frac{3.53}{Q_{MD}^{0.0914}}$$

Tchobanoglous $$F = \frac{3.70}{Q_{MD}^{0.0733}}$$

- **Caudal de diseño sanitario**

El Caudal de diseño (QDT) de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo (QMH), los aportes por infiltraciones y conexiones erradas.

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

Este caudal es el correspondiente a las contribuciones acumuladas que llegan al tramo hasta el pozo de inspección inferior.

La **Resolución 0330 de 2017** en el *Artículo 134* numeral 7 cita: *"el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor a 1,5 L/s, debe adoptarse este valor como caudal de diseño."*

- **Caudal Medio Diario de Aguas Residuales (Qmd)**

El caudal medio diario de aguas residuales (QMD) es la suma de los aportes domésticos, comerciales, industriales e institucionales.

$$\mathrm{Q_{MD}} = \mathrm{Q_D} + \mathrm{Q_C} + \mathrm{Q_I} + \mathrm{Q_{IN}}$$

- **Caudal máximo horario (QMH)**

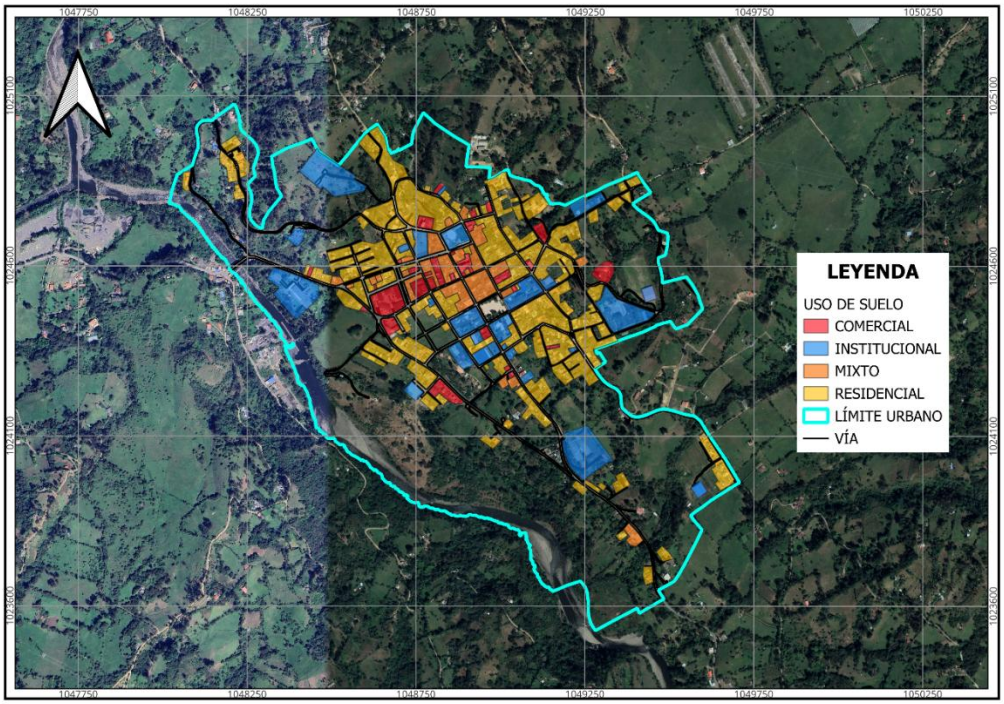
El caudal máximo horario del día máximo se estima a partir del caudal medio diario final, mediante el uso del factor de mayoración, F adoptado como 3 anteriormente.

$$\mathrm{Q_{MH}} = \mathrm{Q_{MD}} * \mathrm{F}$$

Para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, se tienen en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El valor del factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada

vez más a amortiguar los flujos. En la Tabla 3 y en la Ilustración 3 se presentan las áreas delimitadas dentro del área de servicio para el cálculo de caudales y en la Tabla 4 los parámetros usados para la determinación de los caudales sanitarios.

Ilustración 3. Usos del suelo casco urbano Gachetá, Cundinamarca.



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 3. Áreas delimitadas del área de servicio

DISTRIBUCIÓN DE AREAS ALCANTARILLADO SANITARIO			
Área Casco Urbano	132.32	Ha	Correspondiente al área definida según el límite urbano municipal
Area Sanitaria Habitacional (Actual)	20.73	Ha	Determinado con base en la delimitación de uso sobre el catastro urbano
Area Sanitaria Comercial (Actual)	6.38	Ha	Determinado con base en la delimitación de uso sobre el catastro urbano
Area Sanitaria Institucional (Actual)	9.33	Ha	Determinado con base en la delimitación de uso sobre el catastro urbano
Area Sanitaria Industrial (Actual)	0.00	Ha	
Longitud de tubería	12016.00	m	Estimación de longitud total de la red, conforme el anterior plan maestro de acueducto y alcantarillado
Ancho de aferencia	8.00	m	Valor estimado para calcular el área de infiltración
Area para infiltración	9.61	Ha	
Area para Conexiones erradas	33.06	Ha	
Población 2029	5941.00	Hab	

DISTRIBUCIÓN DE AREAS ALCANTARILLADO SANITARIO			
Población 2053	9039.00	Hab	
Densidad poblacional 2029	44.90	Hab/Ha	
Densidad poblacional 2053	68.31	Hab/Ha	

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 4. Parámetros de diseño para el cálculo de caudales sanitarios

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Coeficiente de Retorno	0.85	-	Resolución 0799 de 2021
Dotación Neta	130.00	l/habxdía	Resolución 0799 de 2021
Coeficiente Aporte Comercial	0.50	l/s*Ha	Manual de buenas practicas
Coeficiente Aporte Institucional	0.50	l/s*Ha	Manual de buenas practicas
Coeficiente Aporte Industrial	0.40	l/s*Ha	Manual de buenas practicas
Coeficiente Conexiones erradas	0.20	l/s*Ha	Resolución 0799 de 2021
Coeficiente Infiltración	0.10	l/s*Ha	Resolución 0799 de 2021

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Teniendo en cuenta la proyección de la población se obtienen los siguientes caudales de diseño:

Tabla 5. Cálculos caudales sanitarios municipio de Gachetá.

CÁLCULO CAUDALDES SANITARIOS - ALCANTARILLADO									
Año	**P Hab**	**F Calculado**	**F Asumido**	**Q_D (l/s)**	**Q_C (l/s)**	**Q_{IN} (l/s)**	**Q_{MH} (l/s)**	**$Q_{INF} + Q_{CE}$ (l/s)**	**Q_{DIS} (l/s)**
2029	5941	2.93	2.93	7.60	3.19	4.67	30.11	7.57	37.68
2053	9039	2.81	2.81	11.56	3.19	4.67	40.32	7.57	47.89

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

De la misma manera se determinan los caudales sanitarios para el sector de Italia 90, donde se determinó que el área sanitaria habitacional del casco urbano corresponde a 96.13 ha, donde se asume que el 30% corresponde a las zonas de protección hídrica, zonas de equipamientos y cesión, según lo cual se tendría un área sanitaria habitacional de 28.77 ha.

Tabla 6. Distribución áreas alcantarillado sanitario sector Italia 90.

DISTRIBUCIÓN DE AREAS ALCANTARILLADO SANITARIO			
Área Casco Urbano	132.32	Ha	
Area Sanitaria Habitacional (Actual)	28.77	Ha	Se asume que el 30% corresponde a las zonas de protección hídrica, zonas de equipamentos y cesión.
Area Sanitaria Comercial (Actual)		Ha	
Area Sanitaria Institucional (Actual)		Ha	
Area Sanitaria Industrial (Actual)	0.00	Ha	
Longitud de tubería	1666.00	m	
Ancho de aferencia	8.00	m	
Area para infiltración	1.33	Ha	
Area para Conexiones erradas	28.77	Ha	
Población 2029	5941.00	Hab	

DISTRIBUCIÓN DE AREAS ALCANTARILLADO SANITARIO			
Población 2053	9039.00	Hab	
Densidad poblacional 2029	44.90	Hab/Ha	
Densidad poblacional 2053	68.31	Hab/Ha	

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Ilustración 4. Distribución de áreas de drenaje actual



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 7. Caudales alcantarillado sanitario sector Italia 90.

CÁLCULO CAUDALDES SANITARIOS - ALCANTARILLADO										
Año	**Población (hab)**	**Factor de Mayoración Flores Actual**	**Factor de Mayoración Flores asumido**	**Caudal Domestico (l/s)**	**Caudal Comercial (l/s)**	**Caudal Institucional (l/s)**	**Caudal Industrial (l/s)**	**Caudal Máximo Horario (l/s)**	**Caudal de Infiltración y Conexiones erradas (l/s)**	**Caudal de Diseño (l/s)**
2029	1292	3.41	3.41	1.65	0.00	0.00	0.00	5.64	5.89	11.52
2053	1965	3.27	3.27	2.51	0.00	0.00	0.00	8.22	5.89	14.11

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

5 CRITERIOS Y PARAMETROS ALCANTARILLADO

Para realizar la evaluación de las redes de alcantarillado sanitario se toman los parámetros establecidos en la resolución 0330 de 2017 y 0799 de 2021, a continuación, se presentan estos parámetros.

5.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ALCANTARILLADOS SANITARIO

5.1.1 Diámetro mínimo

En las redes de recolección y evacuación de aguas residuales, la sección circular es la más usual para los colectores, principalmente en los tramos iniciales. El diámetro nominal interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado sanitario es de 170 mm (8”). Para poblaciones menores de 2.500 habitantes el diámetro interno real permitido es 140 mm (6”).

5.1.2 Velocidad mínima

Si las aguas residuales fluyen por un período largo a bajas velocidades, los sólidos transportados pueden depositarse dentro de los colectores. En consecuencia, se debe disponer regularmente de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante períodos de caudal bajo.

La velocidad mínima permitida según la resolución 0330 de 2017, es aquella que permita un esfuerzo cortante mínimo en la pared de la tubería de 1.0 Pa (1.0 N/m2)

5.1.3 El esfuerzo cortante medio

Para las condiciones iniciales de operación de cada tramo, debe verificarse el comportamiento auto limpiante del flujo, para lo cual es necesario utilizar el criterio de esfuerzo cortante medio, el cual puede estimarse por la expresión.

$$\tau = \gamma \cdot \mathrm{R} \cdot \mathrm{S}$$

Dónde:

γ= 10300 N/m3 peso específico de las aguas residuales
R = D/4
S= pendiente media

5.1.4 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 en términos de características de los materiales, de las características abrasivas de las aguas residuales, de la turbulencia del flujo y del empotramiento de los colectores.

Deben hacerse las previsiones necesarias de atraque del colector. En general, se recomienda que la velocidad máxima real no sobrepase 5 m/s. Los valores mayores deben justificarse apropiadamente para ser aceptados por la unidad prestadora del servicio.

5.1.5 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios.

Para permitir aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 85% del diámetro interno real de éste (artículo 143, resolución 0330 de 2017).

5.1.6 Profundidad mínima a la cota clave

Los colectores de redes de recolección y evacuación de aguas residuales deben estar a una profundidad adecuada para permitir el drenaje por gravedad de las descargas domiciliarias sin sótano, aceptando una pendiente mínima de 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 recubrimiento de los colectores que no requieren protección a cargas vivas con relación a la rasante definitiva se definen en la siguiente tabla:

Tabla 8. Profundidad a las cotas claves del colector

Servidumbre	Profundidad a la clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0.75
Vías vehiculares	1.20

Fuente: Tabla 18, artículo 139 Resolución 0330 de 2017

5.1.7 Diseño hidráulico

En general, 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 la sección de un colector puede hacerse suponiendo que el flujo en éste es uniforme. Esto es válido en particular para colectores de diámetro pequeño. Existen varias fórmulas de flujo uniforme apropiadas para este propósito, dentro de las cuales están la de Chézy y la de Manning. La ecuación de Chézy constituye la representación de la ecuación de Darcy para flujo en conductos abiertos, mientras que la fórmula de Manning es la más utilizada en la práctica.

$$V = C \cdot (R \cdot S)^{1/2} \text{ (Chézy)}$$

$$V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \text{ (Manning)}$$

La evaluación de los colectores sanitarios existentes y el rediseño de los colectores planteados se realizó utilizando la ecuación de Manning.

Muchas investigaciones y experimentos de laboratorio y mediciones de campo se han llevado a cabo para determinar los coeficientes de fricción para varios materiales y condiciones. En el laboratorio se pueden obtener mediciones precisas, pero es difícil duplicar condiciones de flujo equivalentes a las de un alcantarillado. Por su parte, las mediciones de campo en colectores existentes pueden reflejar variables desconocidas propias del sistema analizado, así como errores en la medición e inhabilidad para controlar variables identificables.

El coeficiente C de resistencia al flujo de Chézy puede estimarse a partir del coeficiente de fricción F de la fórmula de Darcy-Weisbach, el cual se evalúa con la fórmula de Colebrook-White. Esta fórmula se considera teóricamente la más completa, pues es aplicable a todos los regímenes de flujo, y depende del diámetro, el número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad absoluta K propio de la superficie friccional. El coeficiente C puede estimarse también con fórmulas más empíricas como las de Ganguillet-Kutter y Bazin.

El coeficiente de rugosidad de Manning es estimado a partir de mediciones de laboratorio y de campo, y depende, en general, del tipo de material del conducto.

En el diseño de redes de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales, deben usarse valores de coeficientes de rugosidad que representen adecuadamente el efecto friccional en las condiciones de servicio que el colector experimentará durante su vida útil.

Estas condiciones de servicio dependen de varios factores:

- Material del conducto.
- Forma y tamaño del conducto.
- Profundidad de flujo.
- Tipo de uniones.
- Número de uniones por Unidad de longitud.
- Desalineamiento horizontal del conducto.
- Desalineamiento vertical del conducto por efecto de las uniones.
- Depósitos de material en el conducto.
- Entrada de flujos laterales puntuales al conducto.
- Penetración de raíces.
- Crecimiento de biofilmes en el interior del conducto.
- Deformación del colector.

Tabla 9. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning - Colectores y drenajes de aguas residuales domésticas y aguas lluvias

VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	
Material	**n**
CONDUCTOS CERRADOS	
Asbesto – cemento	0.011 - 0.015
Concreto prefabricado interior liso	0.011 - 0.015
Concreto prefabricado interior rugoso	0.015 - 0.017
Concreto fundido en sitio, formas lisas	0,012 - 0,015
Concreto fundido en sitio, formas rugosas	0,015 - 0,017
Gres vitrificado	0.011 - 0.015
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	0.011 - 0.015
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	0.010 - 0.015
Metal corrugado	0.022 - 0.026
Colectores de ladrillo	0.013 - 0.017
CONDUCTOS ABIERTOS	
Canal revestido en ladrillo	0.012 - 0.018
Canal revestido en concreto	0.011 - 0.020
Canal excavado	0.018 - 0.050
Canal revestido rip-rap	0.020 - 0.035

Fuente: Reglamento de agua potable y saneamiento básico, RAS-2000

Para el presente proyecto se utilizó tubería de PVC (RIB LOC o SIMILAR) con un coeficiente de rugosidad “n” de Manning igual a 0.010, Gres con un coeficiente de rugosidad igual 0.0013 y Concreto con un coeficiente de rugosidad igual a 0.013.

Régimen de flujo

Se deben evitar las condiciones de flujo crítico. Es necesario verificar el régimen para varias condiciones de flujo en especial para las correspondientes a los primeros años de operación.

Para el proyecto se limitó el número de Froude entre en los siguientes rangos, flujo subcrítico NF ≤ 0.90, flujo supercrítico NF ≥ 1.10

Unión de colectores

La unión o conexión de dos o más tramos de colectores debe hacerse con estructuras hidráulicas apropiadas, denominadas estructuras de conexión.

Usualmente, estas estructuras son pozos de unión o conexión o estructuras-pozo. Estas estructuras están comunicadas con la superficie mediante pozos de inspección. La norma técnica NTC 1393 del ICONTEC establece los requerimientos de las tapas de estos pozos

de inspección. El diseño hidráulico de estas estructuras depende del régimen de flujo de los colectores afluentes y del colector de salida o principal, y se basa, fundamentalmente, en la determinación de las pérdidas de cabeza hidráulica producidas por la unión.

El diámetro interno de las estructuras de conexión debe definirse con las condiciones de empalmes de las tuberías, garantizando que las perdidas hidráulicas debido al radio de curvatura de conexión sean mínimas. En general, la distancia máxima entre estructuras de conexión de colectores está determinada por la malla urbana, los equipos disponibles de limpieza y el comportamiento hidráulico del flujo. En caso de que ni la malla urbana ni el comportamiento del flujo limiten la distancia máxima, ésta es de 120 m para tramos con aportes de caudal y 300 m para interceptores y emisarios final sin aporte de caudal.

Tabla 10. Diámetro interno mínimo de estructuras de conexión.

Mayor diámetro de las tuberías conectadas (mm)	Diámetro interno de la estructura (m)
De 200 a 500	1.20
Mayor que 500 hasta 750	1.50
Mayor que 750 hasta 900	1.80

Fuente: Tabla 19, artículo 154. Resolución 0330 de 2017.

Pérdidas de energía

La unión o intersección de dos o más colectores debe hacerse con estructuras hidráulicas apropiadas, cuyo diseño hidráulico se basa en la determinación de las pérdidas de cabeza en la estructura, con el fin de estimar la cota batea del colector de salida. El análisis es diferente dependiendo del régimen de flujo, tanto de los colectores de entrada como en los de salida.

Régimen sub-crítico

En el caso de régimen sub crítico, el criterio de empate de la línea de energía es apropiado para analizar la formación de remansos que puedan afectar el comportamiento hidráulico. Las pérdidas de energía ocurridas por la unión de colectores y el cambio en la dirección de flujo pueden estimarse como:

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

Dónde:

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

$$\Delta H_C = K_C Hv$$

Si (He es positivo, representa la caída de la cota batea entre el colector principal de entrada y el colector de salida. Debe verificarse que las cotas de energía de los colectores afluentes siempre sean mayores o iguales a la cota de energía del colector de salida, luego de descontarle las pérdidas dentro de la estructura. Cuando la caída de la cota batea es mayor que 750 mm, debe proveerse una cámara de caída. Si (He es negativo o cero, no debe proveerse caída de la batea del colector de salida. Para este último caso, también es necesario verificar que las cotas de energía de los colectores afluentes sean mayores o iguales a la cota de energía del colector de salida, luego de descontarle las pérdidas dentro de la estructura.

Régimen supercrítico

En el caso de régimen supercrítico, las consideraciones básicas de diseño hidráulico permiten establecer dos situaciones: unión de colectores sin caída en la estructura de unión y unión de colectores con cámara de caída. La primera corresponde al caso en el cual la cota de la superficie de agua en los colectores afluentes a la estructura es aproximadamente la misma y la cota de energía del colector de salida es menor que la de los de entrada para evitar la formación de resaltos hidráulicos. En este caso, las pérdidas de energía corresponden principalmente al flujo curvilíneo dentro de la estructura entre los colectores principales y representan la caída en la cota batea de los colectores principales. Su diseño debe tener en cuenta que los máximos ángulos de deflexión siguen una relación inversa con el diámetro del colector de salida.

Para los casos en los cuales no es justificable o no hay espacio para construir estructuras de unión como las anteriores, en particular cuando los diámetros son mayores que 900 mm, pueden hacerse estructuras-pozos convencionales con cámaras de caída. En este caso, el análisis hidráulico corresponde al de un conducto cerrado con control en la entrada; esto es que la capacidad de la tubería es mayor que la capacidad de la entrada al colector, identificando primero si ésta se sumerge o no (con base en el caudal y el diámetro del colector de salida), y estimando las pérdidas de energía correspondientes, al igual que la profundidad de agua esperada en la estructura-pozo. El diseño debe buscar que esta profundidad no sobrepase las elevaciones de los flujos afluentes, los cuales pueden estimarse suponiendo en la entrada a la estructura las correspondientes profundidades normales.

En general, los métodos de pérdidas de energía deben utilizarse para diámetros mayores de 500 mm. En localidades muy planas la caída no debe ser mayor que 20 mm por pozo.

Tabla 11. Valores del coeficiente Kc

RÉGIMEN DE FLUJO	RADIO CURVATURA / DIÁMETRO	KC
Subcrítico	1.0 - 1.5	0.40
	1.5 - 3.0	0.20

RÉGIMEN DE FLUJO	RADIO CURVATURA / DIÁMETRO	KC
	> 3.0	0.05
Supercrítico	6.0 - 8.0	0.40
	8.0 - 10.0	0.20
	> 10.0	0.05

Fuente: Reglamento de agua potable y saneamiento básico, RAS-2000

5.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO.

5.2.1 Pozos de inspección

El diámetro interno de la estructura de conexión debe definirse con las condiciones hidráulicas y geométricas del empalme de las tuberías, garantizando que se conecten a la estructura sin cruzarse entre sí. En la siguiente tabla se presentan los diámetros mínimos recomendados por la Resolución 330 de 2017.

Tabla 12. Diámetro interno mínimo de la estructura de conexión

Mayor diámetro de las tuberías conectadas (mm)	Diámetro interno de la estructura (m)
De 200 a 500	1.20
Mayor de 500 hasta 750	1.50
Mayor de 750 hasta 900	1.80

Fuente: Tabla 19 de la Resolución 330 de 2017.

- Para instalar una tubería se debe adoptar un sistema que absorba los movimientos diferenciales entre la tubería y la estructura, y los esfuerzos que se generen por esta causa. Para tuberías rígidas, se instalará una banda de material elástico alrededor de un tramo de tubo empotrado en el cilindro de la estructura, la banda tendrá un ancho igual al espesor del muro menos 2 cm, de forma que centímetro a cada extremo donde se aplicará un cordón de material sellante elástico. Para tuberías flexibles con acople mecánico se debe instalar una unión a la llegada de la estructura de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; la unión debe quedar adherida externamente a la estructura y el tubo se instala en la unión.
- Todas las estructuras de conexión deben tener cañuela en el fondo, con el fin de disminuir las pérdidas de energía. El ancho de la cañuela debe ser como mínimo el ancho del diámetro interno de la tubería de menor tamaño que se conecte a la estructura y crecer en forma gradual hacia la tubería de salida.
- Las estructuras deben tener impermeabilización interna y externa.

5.2.2 Cámaras de caída.

Estas estructuras deben cumplir con los siguientes requisitos.

- El colector que llegue a una estructura de conexión con una diferencia de nivel entre las cotas bateas mayor a 0.75 m, respecto del colector de salida, debe entregar mediante una

cámara de caída. Para desniveles mayores a 7.0 metros se deben diseñar estructuras de disipación de energía.

- El diámetro interno real de la tubería de la cámara de caída debe ser el indicado en la siguiente tabla. Si la tubería de entrada tiene un diámetro interno real mayor de 900 mm, debe diseñarse una transición entre el colector y la estructura de conexión que garantice la reducción de energía.

Tabla 13. Diámetro de la cámara de caída en función del diámetro de la tubería de entrada

Diámetro interno real de la tubería de entrada (D)	Diámetro interno real mínimo de la tubería de la cámara de caída.
D ≤ 300 mm	170 mm
300 mm > D ≤ 450 mm	280 mm
450 mm > D ≤ 900 mm	360 mm

Fuente: Tabla 20 de la Resolución 330 de 2017.

6 DIAGNOSTICO SITUACIONAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

El presente capítulo tiene como finalidad documentar las condiciones actuales del sistema de alcantarillado sanitario existente en el sector Italia 90 del municipio de Gachetá, Cundinamarca, con el propósito de establecer una base técnica que justifique las decisiones de diseño adoptadas para la infraestructura proyectada.

La red del sector comprende 12 tramos de tubería de PVC, para un total de 660.60 m de trazado con diámetros de 12” y 14”, con recorrido desde el pozo PZ92 hasta la descarga en el pozo PZK.

Tabla 14. Tramos alcantarillado sanitario Italia 90

Tramo	Longitud	Diameter (in)	Manning's n	Material
PZ_E-PZE1	56.60	14.00	0.01	PVC
PZ_F1-PZ_G	47.90	14.00	0.01	PVC
PZ_F-PZ_F1	20.80	14.00	0.01	PVC
PZ_G-PZ_H	60.00	14.00	0.01	PVC
PZ_H-PZ_I	89.70	14.00	0.01	PVC
PZ_I-PZ_J	19.20	14.00	0.01	PVC
PZ_J-PZ_K1	27.90	14.00	0.01	PVC
PZ_K1-PZ_K	6.30	14.00	0.01	PVC
PZ92-PZ93	119.90	12.00	0.01	PVC
PZ93-PZ94	55.10	14.00	0.01	PVC
PZ94-PZ_E	57.00	14.00	0.01	PVC
PZE1-PZ_F	100.20	14.00	0.01	PVC

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 15. Pozos alcantarillado sanitario Italia 90.

Pozo	Elevation (Ground) (m)	X (m)	Y (m)	Altura pozo (m)
PZ_E	1711.67	1049410.90	1023822.25	1.43
PZ_F	1705.59	1049460.97	1023673.95	1.49
PZ_F1	1704.51	1049464.19	1023653.37	1.25
PZ_G	1702.76	1049488.30	1023611.96	1.33
PZ_H	1700.04	1049534.89	1023574.22	1.59
PZ_I	1696.09	1049614.83	1023533.64	1.05
PZ_J	1695.84	1049629.44	1023521.21	1.31
PZ_K1	1695.38	1049642.09	1023496.31	1.28
PZ92	1721.73	1049233.59	1023970.43	1.38
PZ93	1716.68	1049331.87	1023901.73	1.54
PZ94	1714.03	1049371.14	1023863.07	1.19
PZE1	1707.57	1049433.06	1023770.17	2.37
PZ_K	1694.07	1049643.53	1023490.22	-

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Con base en el reconocimiento general del sistema de alcantarillado sanitario existente en el sector Italia 90, la revisión de las estructuras de conexión identificadas y la información levantada para el desarrollo del presente diseño, se establece que la red actual presenta condiciones físicas y funcionales deficientes, las cuales limitan su operación adecuada y justifican la necesidad de intervención.

La infraestructura existente evidencia deterioro en diferentes sectores del trazado, asociado principalmente a la presencia de tramos destruidos, colapsados, fracturados, obstruidos y sin capacidad operativa, estas condiciones afectan la continuidad hidráulica del sistema, reducen la sección útil de conducción, favorecen la acumulación de sedimentos y generan restricciones para el transporte normal de las aguas residuales sanitarias.

Desde el punto de vista físico, las afectaciones identificadas se relacionan con pérdida de integridad estructural de la tubería, posibles discontinuidades entre tramos, fracturas localizadas, deformaciones, colapsos parciales o totales y obstrucciones internas que impiden o restringen el flujo. Desde el punto de vista funcional, la red existente no garantiza una prestación adecuada del servicio, debido a que los tramos afectados no permiten asegurar una conducción continua, segura y eficiente de los caudales sanitarios actuales y futuros.

En base a las características de la red, se lleva a cabo la modelación del sistema en el software sewerGEMS con el fin de determinar las características hidráulicas de los tramos de red existentes. La metodología usada para la construcción y ejecución del modelo se detalla en capítulo 7.1 Modelo hidráulico.

Según lo anterior se van a tomar como datos de entrada los dispuestos en la Tabla 14 y Tabla 15, así como los caudales calculados de la proyección poblacional del sector de Italia 90 para el año 2053 (Tabla 16).

Tabla 16. Cálculo caudales sistema alcantarillado sanitario sector Italia 90

CÁLCULO CAUDALDES SANITARIOS - ALCANTARILLADO										
Año	**Población (hab)**	**Factor de Mayoración Flores Actual**	**Factor de Mayoración Flores asumido**	**Caudal Domestico (l/s)**	**Caudal Comercial (l/s)**	**Caudal Institucional (l/s)**	**Caudal Industrial (l/s)**	**Caudal Máximo Horario (l/s)**	**Caudal de Infiltración y Conexiones erradas (l/s)**	**Caudal de Diseño (l/s)**
2029	1292	3.41	3.41	1.65	0.00	0.00	0.00	5.64	5.89	11.52
2053	1965	3.27	3.27	2.51	0.00	0.00	0.00	8.22	5.89	14.11

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

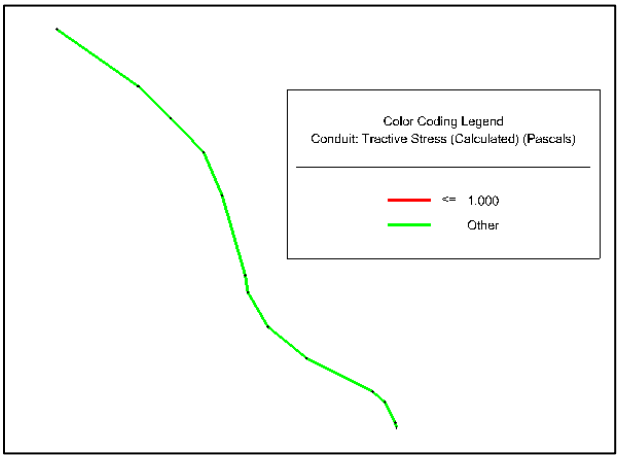
6.1 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la modelación hidráulica, a continuación, se presenta la evaluación del cumplimiento de los parámetros hidráulicos establecidos por la normatividad vigente, para el escenario del año 2053.

6.1.1 Esfuerzo tractivo

De acuerdo con el artículo 141 de la resolución 330 de 2017, como criterio de autolimpieza se tiene para las redes de alcantarillado convencionales de aguas residuales que la velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1,0 Pascal. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en el tramo de Italia 90.

Ilustración 5. Evaluación de esfuerzo cortante escenario futuro

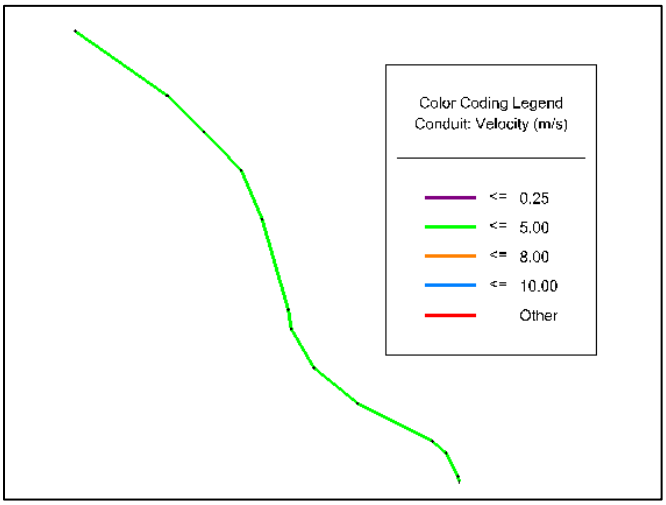


Fuente: Unión Temporal Ecosygma

6.1.2 Velocidad máxima

De acuerdo con el artículo 142 de la resolución 330 de 2017, la velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5,0 m/s, determinada para el caudal de diseño. Se aclara que para condiciones especiales como, topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s; sin embargo, la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto y/o de los accesorios a emplear y no deberá superar los 10 m/s. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en todo el tramo del sector de Italia 90.

Ilustración 6. Evaluación de velocidad máxima escenario futuro



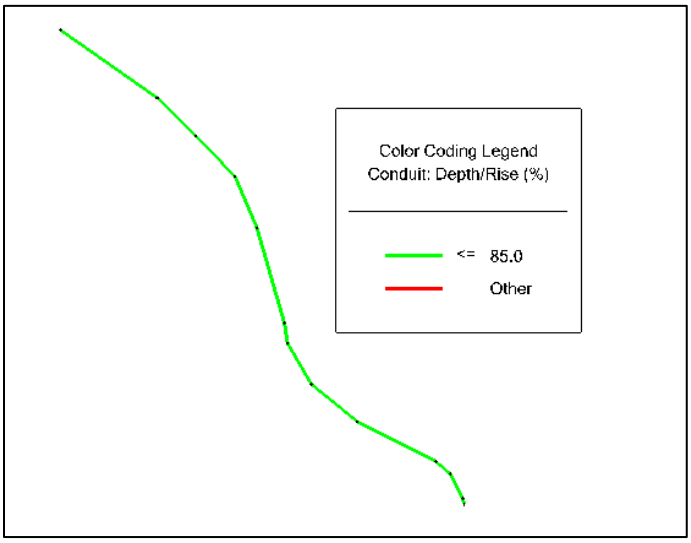
Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Se concluye que toda la red de alcantarillado se encuentra dentro del rango permitido por la red, si bien existen pendientes altas en algunos tramos no se excede los 5 m/s. Por lo cual no existe riesgo de abrasión en la tubería.

6.1.3 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios.

De acuerdo con el artículo 143 de la resolución 330 de 2017, Para permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 85% del diámetro interno real de este. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en el tramo de Italia 90.

Ilustración 7. Evaluación de relación de llenado escenario futuro

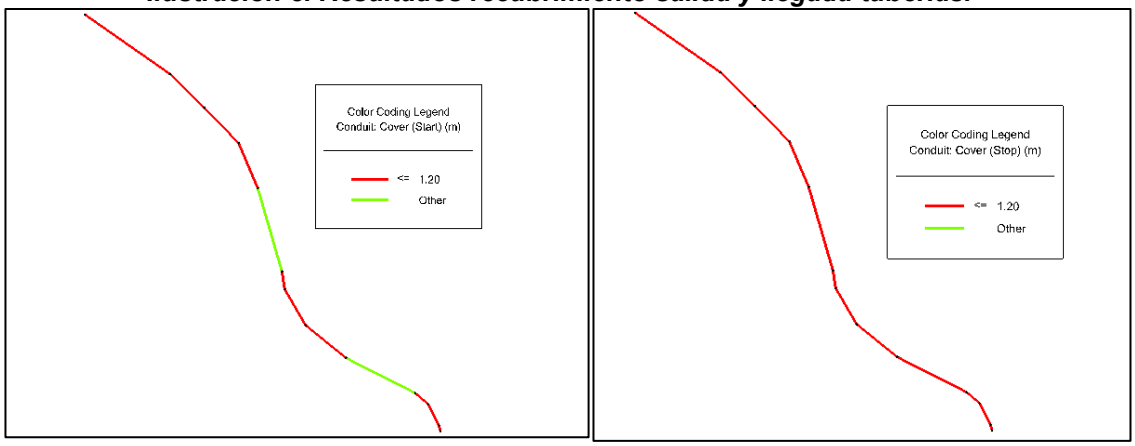


Fuente: Unión Temporal Ecosygma

6.1.4 Profundidad mínima de instalación en alcantarillados.

De acuerdo con el artículo 139 de la resolución 330 de 2017, los valores mínimos permisibles de recubrimiento de los colectores corresponden a 0.75 m para vías peatonales o zonas verdes y 1.20 m para vías vehiculares. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en el tramo de Italia 90.

Ilustración 8. Resultados recubrimiento salida y llegada tuberías.



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 17. Resultados hidráulicos alcantarillado sanitario sector Italia 90

Label	Start Node	Invert (Start) (m)	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Diameter (mm)	Velocity (m/s)	Depth/Rise (%)	Cover (Start) (m)	Cover (Stop) (m)
PZ_E-PZE1	PZ_E	1 710.24	PZE1	1 706.21	0.071	355.6	2.15	17.9	1.07	1.000
PZ_F1-PZ_G	PZ_F1	1 703.26	PZ_G	1 701.85	0.029	355.6	1.58	19.3	0.9	0.550
PZ_F-PZ_F1	PZ_F	1 704.10	PZ_F1	1 703.27	0.04	355.6	1.76	18.8	1.13	0.890
PZ_G-PZ_H	PZ_G	1 701.43	PZ_H	1 698.90	0.042	355.6	1.79	18.7	0.97	0.780
PZ_H-PZ_I	PZ_H	1 698.45	PZ_I	1 695.10	0.037	355.6	1.72	18.9	1.23	0.640
PZ_I-PZ_J	PZ_I	1 695.04	PZ_J	1 694.92	0.006	355.6	0.9	22.7	0.7	0.560
PZ_J-PZ_K1	PZ_J	1 694.53	PZ_K1	1 694.12	0.015	355.6	1.24	20.6	0.95	0.900
PZ_K1-PZ_K	PZ_K1	1 694.10	PZ_K	1 694.07	0.005	355.6	0.83	23.4	0.92	-
PZ92-PZ93	PZ92	1 720.35	PZ93	1 715.20	0.043	304.8	1.84	22.7	1.07	1.170
PZ93-PZ94	PZ93	1 715.14	PZ94	1 713.31	0.033	355.6	1.65	19.1	1.18	0.370
PZ94-PZ_E	PZ94	1 712.84	PZ_E	1 710.25	0.045	355.6	1.84	18.6	0.84	1.060
PZE1-PZ_F	PZE1	1 705.20	PZ_F	1 704.23	0.01	355.6	1.07	21.5	2.01	1.000

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Según los resultados anteriores, y teniendo en cuenta que los tramos de red se encuentran ubicados bajo vía vehicular, se encuentra que los tramos evaluados presentan incumplimiento del recubrimiento mínimo desde la rasante a la cota clave de inicio y fin de cada colector, a pesar de tener cumplimiento de los demás parámetros físicos evaluados según normativa, lo cual es un factor importante que puede causar afectaciones importantes, teniendo en cuenta que es una vía que presenta el flujo de tráfico pesado siendo susceptible a causar daños a la red.

7 DISEÑO HIDRAULICO ALCANTARILLADO SANITARIO

Para el diseño de la red de alcantarillado del sector Italia 90, se proyectaron 31 tramos de tubería de PVC (incluyendo manijas) con diámetros de 8” y 10”, con el pozo MH-1 como pozo inicial (x=1049237.43, y=1023965.76) llegando hasta el pozo O-1 (x=1049629.95, y=1023492.36), para una red con longitud de 695.13 m. Adicionalmente, se proyectan 5 tramos de tubería con placa de protección en concreto reforzado para los tramos donde no se cumple, de acuerdo a la configuración propuesta y a las limitantes del terreno, con el recubrimiento mínimo, con el fin de proteger las tuberías por debajo del nivel del suelo protegiéndolos del tráfico pesado o daños. De igual manera, se proyecta un encamisado en hierro dúctil para los tramos de tubería dispuestos entre los pozos MH-22.1 y MH-23, donde la red cruza un paso elevado.

Por otro lado, de acuerdo con la visita de campo realizada y las mesas de trabajo adelantadas en el municipio de Gachetá, se identificó que el corredor correspondiente al sector Italia 90 presenta condiciones de posible expansión urbana futura, lo cual constituye un factor relevante para el diseño de la red de alcantarillado sanitario, dado que el desarrollo urbanístico del sector puede incrementar progresivamente el número de usuarios aportantes y, en consecuencia, los caudales sanitarios generados.

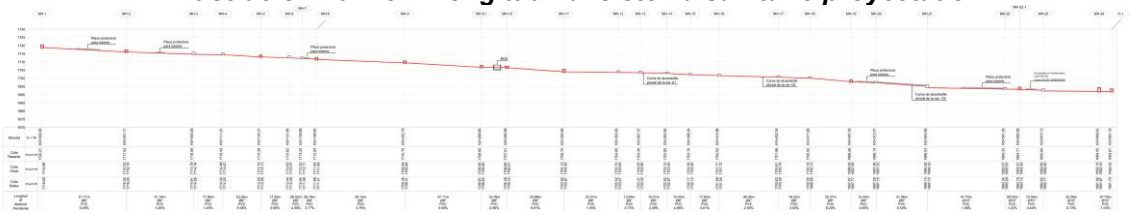
Por lo anterior, el diseño de la red proyectada contempla la necesidad de verificar la capacidad hidráulica del sistema dentro del horizonte de diseño establecido, considerando no únicamente las condiciones actuales del sector, sino también los posibles aportes futuros asociados al crecimiento urbano del corredor.

Ilustración 9. Red sanitaria Italia 90 proyectada



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Ilustración 10. Perfil longitudinal sistema sanitario proyectado



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

7.1 MODELO HIDRÁULICO

El modelo hidráulico fue desarrollado utilizando el software SewerGEMS de Bentley Systems, una herramienta especializada para el análisis y diseño de sistemas de alcantarillado sanitario. Este software permite simular el comportamiento hidráulico bajo distintas condiciones de carga, facilitando la evaluación del desempeño del sistema en escenarios actuales y proyectados.

El objetivo principal del modelado fue representar de manera precisa la red de alcantarillado sanitario del área de estudio, con el fin de:

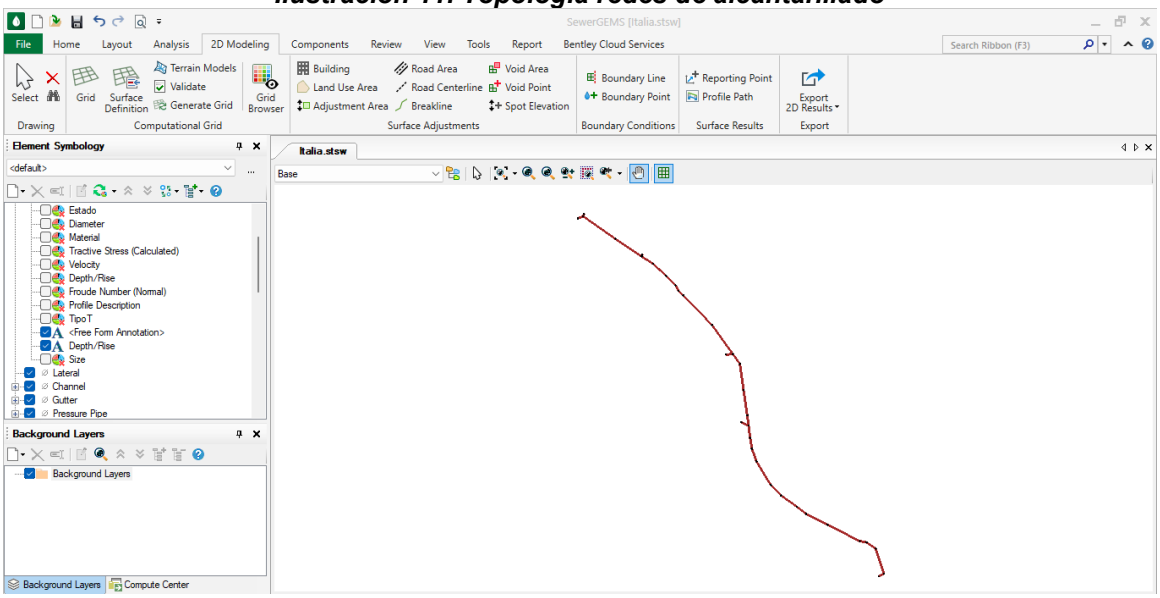
- Verificar la capacidad hidráulica de las conducciones existentes.
- Identificar posibles puntos críticos de insuficiencia.
- Evaluar el comportamiento del sistema frente al escenario de crecimiento poblacional establecido.
- Proponer soluciones técnicas de optimización y ampliación si fuese necesario.

Para la ejecución del modelo hidráulico se consideraron las siguientes características.

- Tipo de flujo modelado: Flujo a superficie libre en régimen permanente.
- Motor hidráulico: GVF-Convex (SewerCAD).
- Suposiciones principales del método:
    - Flujo gradualmente variado en conducciones cerradas.
    - Aproximación escalonada de pendientes y gradientes hidráulicos.
    - Consideración de cargas sanitarias y de infiltración como caudal conocido.
- Elementos modelados:
    - Pozos de inspección (manholes).
    - Tramos de tubería (longitudes, diámetros y materiales).

En la siguiente ilustración se presentan la topología de la red de alcantarillado dentro del programa.

Ilustración 11. Topología redes de alcantarillado



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

- Transito hidráulico de los caudales en redes de alcantarillado

Como es de conocimiento, las hojas de cálculo tradicionales transitan los caudales a través de las tuberías de alcantarillado aplicando la metodología del flujo uniforme, pero últimamente gracias al avance de la tecnología se ha venido estableciendo una forma de modelación más adecuada a las condiciones hidráulicas que en realidad se presentan en un sistema de alcantarillado como es la de permitir desarrollar un algoritmo que permita de manera real establecer la variación del flujo en canales abiertos y esta es mediante el análisis del flujo gradualmente variado.

Este es el caso del software utilizado por la consultoría denominado SewerGEMS V8i en donde el balance de energía incluso en el caso de flujo gradualmente variado, la solución sigue siendo una cuestión de equilibrar la energía entre los dos extremos de un segmento de tubería.

La ecuación de energía en lo que respecta a cada extremo de un segmento es la siguiente (tenga en cuenta que las presiones de ambos extremos son cero, ya que es un flujo de superficie libre):

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_l$$

Dónde:

$Z1$ =Gradiente hidráulico en el extremo aguas arriba del segmento (m)

$V1$ =Velocidad en el extremo aguas arriba (m/s)
Z_2=Gradiente hidráulico en el extremo inferior del segmento (m)
V_2=Velocidad en el extremo inferior (m/s)
H_l= Pérdidas debidas a la fricción las otras perdidas se asumen como cero (m)
g= Aceleración gravitacional constante (9,8 m/s^2)

La pérdida por fricción se calcula sobre la base de la tasa media de pérdida por fricción a lo largo del segmento y la longitud del segmento. Esta relación es la siguiente:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_l$$

Dónde:

HL = Pérdida a través del segmento (m, m)
Savg = pendiente media de fricción (m / m, m / pies)
S1 = la pendiente de fricción en el extremo aguas arriba del segmento (m / m, m / ft)
S2 = pendiente de fricción en el extremo inferior del segmento (m / m, m / pies)

Las condiciones en un extremo del segmento son conocidos a través de la topología o desde un paso de cálculo anterior. Como la pendiente de fricción es una función de la velocidad, lo cual es una función de la profundidad, la profundidad en el otro extremo del segmento se puede encontrar a través de la iteración. Hay dos métodos principales para esta solución iterativa, el método estándar de paso y el método de paso directo.

Debido a que genera mayor resolución dentro de la parte cambiante del perfil, el algoritmo de flujo por gravedad, los programas SewerCAD V8i y SewerGEMS V8i utilizan principalmente el método de paso directo para calcular perfiles de flujo gradualmente variado.

Lo anterior permite establecer una velocidad a la entrada “Velocity in” y a la salida “Velocity out”, determinar los perfiles de flujo dentro de las tuberías y así establecer si se presentan resaltos hidráulicos y determinar claramente cuál es la caída requerida entre tramos.

Por otra parte, permite determinar el número de Froude y calcula de manera adecuada la fuerza tractiva del tramo lo que nos da una clara idea de lo realmente sucede dentro de las tuberías y en especial la hidráulica de interconexión en los pozos de cada uno de los tramos estudiados.

- Configuración del modelo

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los modelos elaborados, es necesario determinar el método de solución numérica que será utilizado para la realización de los cálculos, así como ajustar los parámetros que permitan su convergencia final.

En el caso específico de los modelos hidráulicos de las redes de alcantarillado se utilizó la ecuación de Manning para un flujo gradualmente variado.

Las simulaciones se realizan en el método “Steady State” (estático), permitiendo de esta forma que los caudales recorran todo el sistema

Uno de los principales beneficios que se obtienen por intermedio de la modelación hidráulica tiene que ver con la capacidad de reproducir con un alto grado de precisión, la respuesta del sistema frente a diversas condiciones operativas.

7.1.1 Resultados de la modelación

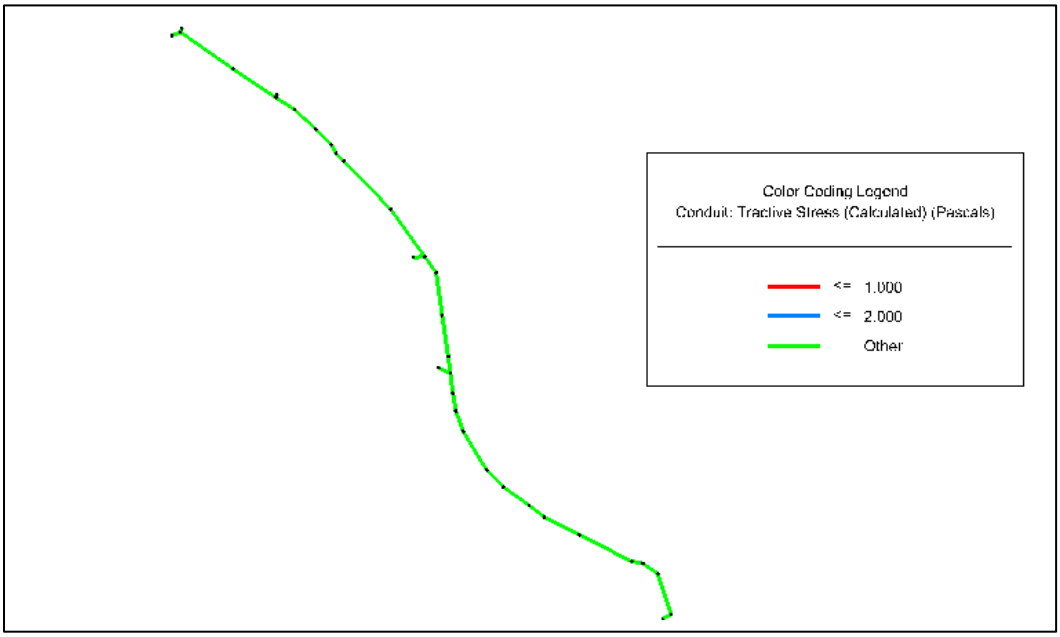
Para el sistema de alcantarillado sanitario, se tienen 31 tramos que fueron proyectados.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la modelación hidráulica, a continuación, se presenta la evaluación del cumplimiento de los parámetros hidráulicos establecidos por la normatividad vigente, para el escenario futuro.

7.1.2 Esfuerzo tractivo

De acuerdo con el artículo 141 de la resolución 330 de 2017, como criterio de autolimpieza se tiene para las redes de alcantarillado convencionales de aguas residuales que la velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1,0 Pascal. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en toda la red.

Ilustración 12. Evaluación de esfuerzo cortante escenario futuro

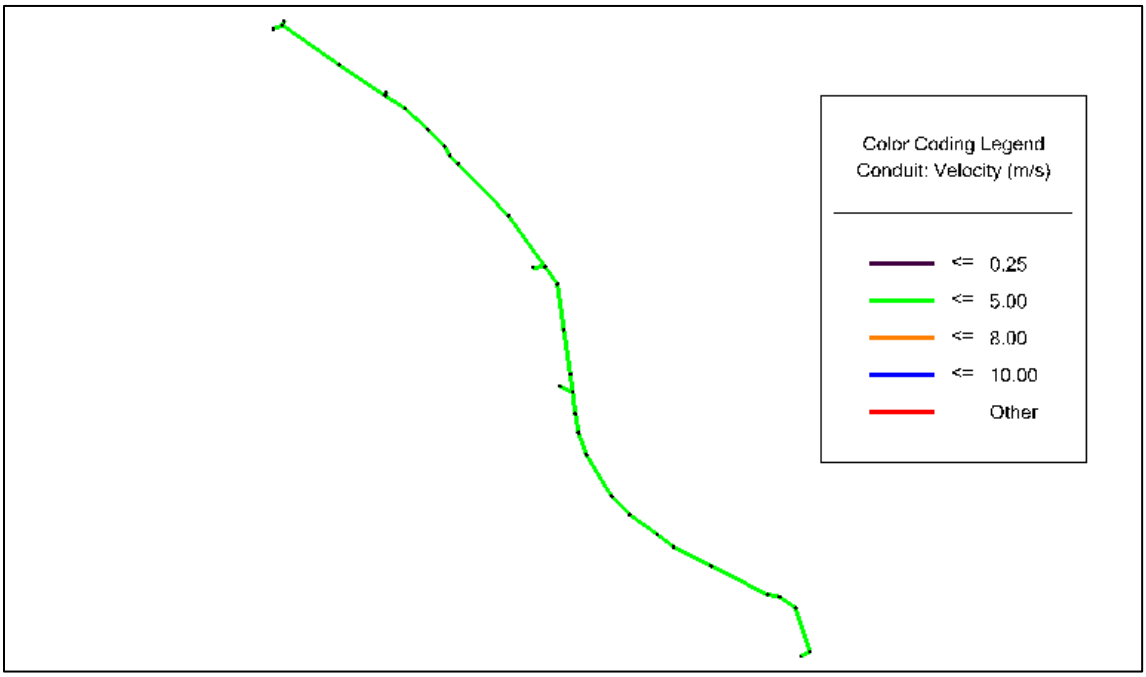


Fuente: Unión Temporal Ecosygma

8.2.1 Velocidad máxima

De acuerdo con el artículo 142 de la resolución 330 de 2017, la velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5,0 m/s, determinada para el caudal de diseño. Se aclara que para condiciones especiales como, topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s; sin embargo, la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto y/o de los accesorios a emplear y no deberá superar los 10 m/s. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en toda la red.

Ilustración 13. Evaluación de velocidad máxima escenario futuro



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

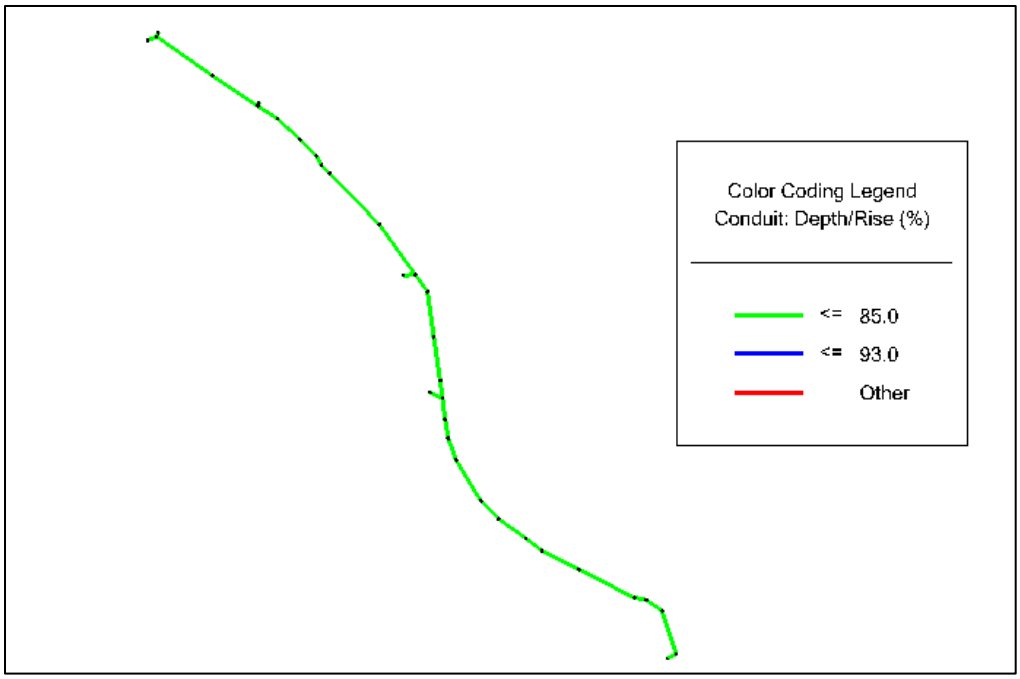
Se concluye que toda la red de alcantarillado se encuentra dentro del rango permitido por la red, si bien existen pendientes altas en algunos tramos no se excede los 5 m/s. Por lo cual no existe riesgo de abrasión en la tubería.

7.1.3 Relación máxima entre profundidad de flujo y diámetro de la tubería en los alcantarillados sanitarios.

De acuerdo con el artículo 143 de la resolución 330 de 2017, Para permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 85% del diámetro interno real de este. Sin embargo, la consultoría para evitar fenómenos de sobrecarga en el sistema

especialmente cuando en algún momento se presenten flujos críticos o cuasi críticos, se optó por trabajar en un rango menor la relación de llenado. En la siguiente ilustración se presenta la evaluación de este parámetro en toda la red.

Ilustración 14. Evaluación de relación de llenado escenario futuro



Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Se puede observar que todas las tuberías tienen relaciones de llenado inferiores a un 85%, lo que disminuye la probabilidad de sobrecarga en la red por flujos críticos en la tubería.

Adicionalmente, se proveen las tablas de resultados obtenidos del diseño para la verificación y revisión (Tabla 18 y Tabla 19), que puede ser consultado en la hoja de cálculo anexa “M_SANITARIO.xslx”. En dichos resultados se observa que hay tramos que presentan incumplimiento de recubrimiento mínimo según la normativa de 0.75 m para zonas verdes o peatonales o de 1.2 m para vías vehiculares. Para dichos tramos como se mencionó en el diseño planteado, se propone la implementación de una placa protectora de concreto, con el fin de garantizar la integridad del sistema y la no afectación debido a las cargas generadas por el tráfico.

Tabla 18. Resultados modelación diseño alcantarillado Italia 90

IDENTIFICACION		PENDIENTE DEL TERRENO	DATOS DE ENTRADA				
TRAMO			Pendiente de diseño final	Pendiente calculada de hoja de diseño	Diámetro	Nº Froude F	Tipo de Flujo
De	A	S%	S%	S%	(" ó m)	(l/s)	
(1)	(2)	(3)	(4)		(5)	(7)	(8)
MN-1	MH-1	2.93	4.26	4.25	8	2.62	Supercrítico
MN-2	MH-1	-1.26	2.84	2.84	8	2.12	Supercrítico
MH-1	MH-2	5.16	5.09	5.09	8	2.87	Supercrítico
MH-2	MH-3	3.51	3.36	3.36	8	2.32	Supercrítico
MN-3	MH-3	-3.60	1.60	1.60	8	1.57	Supercrítico
MH-3	MH-4	3.67	1.45	1.45	8	1.49	Supercrítico
MH-4	MH-5	4.47	5.38	5.38	8	2.96	Supercrítico
MH-5	MH-6	4.38	2.90	2.90	8	2.15	Supercrítico
MH-6	MH-7	4.99	4.36	4.36	8	2.65	Supercrítico
MH-7	MH-8	4.33	3.77	3.76	8	2.46	Supercrítico
MH-8	MH-9	3.86	3.79	3.79	8	2.47	Supercrítico
MH-9	MH-9.1	5.84	5.60	5.60	8	3.02	Supercrítico
MN-5	MH-9.1	2.26	1.62	1.62	8	1.58	Supercrítico
MH-9.1	MH-10	3.11	0.89	0.89	8	1.14	Supercrítico
MH-10	MH-11	5.19	6.91	6.91	8	3.36	Supercrítico
MH-11	MH-12	3.15	1.05	1.05	8	1.25	Supercrítico
MH-12	MH-13	2.57	0.83	0.73	8	1.10	Supercrítico
MN-8	MH-13	7.44	3.20	3.20	8	2.26	Supercrítico
MH-13	MH-14	2.76	2.46	2.46	8	1.97	Supercrítico
MH-14	MH-15	5.21	4.86	4.86	8	2.81	Supercrítico
MH-15	MH-16	3.29	3.01	3.00	8	2.19	Supercrítico
MH-16	MH-17	2.63	2.50	2.50	8	1.98	Supercrítico
MH-17	MH-18	3.26	3.00	3.00	8	2.18	Supercrítico
MH-18	MH-19	6.58	8.20	8.20	8	3.67	Supercrítico
MH-19	MH-20	7.32	3.69	3.69	8	2.43	Supercrítico
MH-20	MH-21	6.69	6.53	6.53	8	3.27	Supercrítico
MH-21	MH-22	3.58	1.59	1.59	10	1.67	Supercrítico
MH-22	MH-22-1	-4.32	1.22	1.22	10	1.45	Supercrítico
MH-22-1	MH-23	7.63	3.44	3.44	10	2.48	Supercrítico
MH-23	MH-24	-2.62	0.73	0.73	10	1.11	Supercrítico
MH-24	O-1	10.70	1.03	1.03	10	1.33	Supercrítico

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

Tabla 19. Resultados modelo diseño alcantarillado Italia 90

IDENTIFICACION			VALORES DE VERIFICACIÓN						
TRAMO		Esfuerzo cortante	Relación Caudales	Velocidad Real	Velocidad a Tubo Lleno	RECUBRIMIENTO		Cota Clave Salida	Cota Batea Salida
						Super	Infer		
De	A	Kg/m²	Y/D	(m/s)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(m)
(1)	(2)		(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(15)	(15)
MN-1	MH-1	1.46	33.8%	1.74	2.63	1.20	1.30	1718.91	1718.73
MN-2	MH-1	1.07	38.1%	1.51	2.15	1.20	1.33	1718.88	1718.70
MH-1	MH-2	1.67	32.1%	1.85	2.87	1.35	1.31	1716.23	1716.05
MH-2	MH-3	1.22	36.3%	1.60	2.34	1.36	1.30	1714.79	1714.61
MN-3	MH-3	0.68	45.2%	1.23	1.61	1.20	1.33	1714.76	1714.58
MH-3	MH-4	0.63	46.5%	1.19	1.53	1.35	0.95	1714.48	1714.30
MH-4	MH-5	1.74	31.6%	1.89	2.95	1.00	1.21	1713.18	1713.00
MH-5	MH-6	1.09	37.9%	1.52	2.17	1.26	1.00	1712.62	1712.44
MH-6	MH-7	1.49	33.6%	1.76	2.66	1.05	1.00	1712.22	1712.04
MH-7	MH-8	1.33	35.1%	1.67	2.47	1.05	1.00	1711.84	1711.66
MH-8	MH-9	1.33	35.0%	1.67	2.48	1.25	1.21	1709.54	1709.36
MH-9	MH-9.1	1.80	31.2%	1.92	3.02	1.26	1.15	1706.85	1706.67
MN-5	MH-9.1	0.69	45.0%	1.24	1.62	1.21	1.15	1706.85	1706.67
MH-9.1	MH-10	0.42	53.7%	1.00	1.20	1.20	0.85	1706.66	1706.48
MH-10	MH-11	2.11	29.3%	2.06	3.35	1.00	1.60	1704.10	1703.92
MH-11	MH-12	0.48	51.1%	1.06	1.31	1.65	0.95	1703.70	1703.52
MH-12	MH-13	0.40	54.8%	0.98	1.16	1.00	0.75	1703.55	1703.37
MN-8	MH-13	1.17	36.8%	1.57	2.28	1.20	0.75	1703.55	1703.37
MH-13	MH-14	0.95	39.8%	1.43	2.00	0.80	0.75	1703.10	1702.92
MH-14	MH-15	1.62	32.5%	1.82	2.81	0.80	0.75	1702.35	1702.17
MH-15	MH-16	1.12	37.5%	1.54	2.21	0.80	0.75	1701.77	1701.59
MH-16	MH-17	0.97	39.6%	1.44	2.01	0.80	0.75	1700.81	1700.63
MH-17	MH-18	1.12	37.5%	1.54	2.21	0.80	0.75	1700.18	1700.00
MH-18	MH-19	2.40	27.9%	2.19	3.65	0.80	1.21	1698.05	1697.87
MH-19	MH-20	1.31	35.3%	1.66	2.45	1.31	0.75	1697.38	1697.20
MH-20	MH-21	2.02	29.8%	2.02	3.26	0.80	0.75	1695.28	1695.10
MH-21	MH-22	0.65	31.9%	1.20	1.86	1.70	0.75	1693.57	1693.34
MH-22	MH-22-1	0.53	34.6%	1.09	1.63	0.80	1.30	1693.41	1693.18
MH-22-1	MH-23	1.16	25.5%	1.57	2.74	1.36	0.75	1692.85	1692.62
MH-23	MH-24	0.36	40.2%	0.91	1.26	1.20	2.35	1692.15	1691.92
MH-24	O-1	0.47	36.3%	1.03	1.50	2.40	1.65	1692.02	1691.79

Fuente: Unión Temporal Ecosygma

8 CONCLUSIONES

- Se proyecta la construcción de 15 tramos de tubería sanitaria entre 8” y 10” de PVC en la zona de Italia 90 del municipio de Gachetá, Cundinamarca.
- Se proyecta la implementación de placa de protección de concreto, para los tramos de tubería que presentan según el diseño recubrimientos menores a los mínimos planteados por normativa, con el fin de proteger la red de tráfico y condiciones adversas dadas por la carretera y el paso elevado por donde se dispone el trazado.
- Se proyecta la implementación de un encamisado en tubería de hierro dúctil para el tramo entre los pozos MH-22-1 y MH-23, donde la red pasa sobre un paso elevado.
- De acuerdo al diagnóstico del trazado actual de alcantarillado presenta incumplimiento en recubrimiento mínimo según lo establecido en la resolución 0330 de 2017.

9 ANEXOS

- Memoria de cálculo (M_SANITARIO.xslx): Hoja de cálculo con resultados de modelación diseño alcantarillado sector “Italia 90”.
- Modelo diagnóstico existente: Modelo hidráulico sewerGEMS red alcantarillado sanitario existente del sector Italia 90.
- Modelo diseño: Modelo hidráulico sewerGEMS red de alcantarillado sanitario diseñada del sector Italia 90.
- Planos (ITALIA-RED SANITARIA-01.pdf e ITALIA.dwg): Planos de diseño en planta y perfil red de alcantarillado sanitario diseñada.
- PyD (Anexo 7. Proy_Pob_GTA.xslx): Hoja de cálculo de Excel con cálculos de población y demanda para el municipio de Gachetá y el sector de Italia 90.