COMPONENTE III

DISEÑO DE EXTENSIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO

MEMORIA HIDRÁULICA

LOTE 1: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA SECTORES PRIORIZADOS DEL CORREGIMIENTO DE **SAN ISIDRO**

Vereda El Guabal

CONTRATO No. 34-14-14-0921 de 2025

OBJETO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS CORREGIMIENTOS DE GUACHINTE Y SAN ISIDRO, VEREDA EL GUABAL – MUNICIPIO DE JAMUNDI-VALLE DEL CAUCA

CONSORCIO
DISEÑOS
JAMUNDÍ 2025
NIT 901994147-7

ALCALDÍA DE JAMUNDÍ
VALLE DEL CAUCA

AGOSTO DE 2026

Contenido

Resumen ejecutivo 5
1. Población beneficiada.....8
1.1. Localización 8
1.2. Población beneficiada 8
2. Conceptualización del diseño 10
3. Caudales de diseño 11
4. Metodología de diseño 14
4.1. Criterios de diseño para el alcantarillado.....14
4.2. Criterios de diseño para la estación de bombeo 17
4.2.1. Número de unidades de bombeo 17
4.2.2. Tiempo de retención del agua en el pozo de bombeo 17
4.2.3. Dimensionamiento del pozo.....17
4.2.4. Diámetro de la tubería de impulsión 18
4.2.5. Velocidad en la tubería de impulsión.....18
4.2.6. Altura dinámica total 18
4.2.7. Potencia de la bomba 20
5. Resultados del diseño 21
5.1. Red de alcantarillado que descarga sobre el alcantarillado proyectado del proyecto El Ocaso 21
5.1.1. Resultados del dimensionamiento de la EBAR 24
5.2. Red de alcantarillado cuatro usuarios aislados 34
6. Manejo de agua lluvia 35
6.1. Alternativas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) 37
6.1.1. Zanjas de infiltración 37
6.1.2. Pozos de infiltración.....38
6.1.3. Jardines de lluvia 39

6.1.4. Almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias 40
6.2. Recomendaciones 41
Conclusiones y recomendaciones 42
Anexos 43
Bibliografía 44

Lista de figuras

Figura 1. Localización del área objeto del alcance de la vereda El Guabal 8
Figura 2. Vista en planta Alternativa 1 Alcantarillado Convencional con impulsión al sistema existente vereda El Guabal 10
Figura 3. Esquema de volúmenes y nivel de arranque de la bomba en el pozo de succión 26
Figura 4. Curva de la bomba - Datos del fabricante de la bomba 31
Figura 5. Curva del sistema de tuberías vs curva de la bomba – EBAR natas 32
Figura 6. Zanjas de infiltración vereda El Guabal 38
Figura 7. Pozos de infiltración vereda El Guabal 39
Figura 8. Jardines de lluvia lateral vereda El Guabal 40
Figura 9. Almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias vereda El Guabal 41

Lista de tablas

Tabla 1. Población estimada Vereda el Guabal 9
Tabla 2. Caudal medio diario de agua residual doméstica estimado 11
Tabla 3. Caudal máximo diario de agua residual doméstica estimado ..12
Tabla 4. Caudal de conexiones erradas estimado 12
Tabla 5. Caudal de infiltración estimado 13
Tabla 6. Caudal de diseño estimado 13
Tabla 7. Criterios y ecuaciones utilizados para determinación de la capacidad de redes de alcantarillado 14

Tabla 8. Resultados de área tributaria y número de viviendas de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal 21
Tabla 9. Resultados de pendientes, coeficiente de rugosidad y sección plena de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal 22
Tabla 10. Resultados de relaciones, valores reales y energía de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal 23
Tabla 11. Resultados de cotas, alturas y chequeo de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal..... 23
Tabla 12. Dimensionamiento del pozo de bombeo 25
Tabla 13. Diámetro tubería impulsión 25
Tabla 14. Estimación de la frecuencia de bombeo EBAR 27
Tabla 15. Niveles de agua en el pozo de bombeo 28
Tabla 16. Coeficientes de resistencia K de accesorios en la tubería Impulsión de la EBAR en escenario normal 29
Tabla 17. Coeficientes de resistencia K de accesorios en la tubería Impulsión de la EBAR en un escenario de emergencia 29
Tabla 18. Cabeza dinámica total 30
Tabla 19. Datos para la curva del sistema de tuberías 30
Tabla 20. Potencia requerida por las bombas..... 33
Tabla 21. Resultados de área tributaria y número de viviendas de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo 34
Tabla 22. Resultados de pendientes, coeficiente de rugosidad y sección plena de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo..... 34
Tabla 23. Resultados de relaciones, valores reales y energía de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo 34
Tabla 24. Resultados de cotas, alturas y chequeo de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo 34

Resumen ejecutivo

El presente documento técnico corresponde a un producto del contrato de concurso de méritos CM-SV 34-14-14-0921, cuyo objeto es realizar los "ESTUDIOS Y DISEÑOS DE INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS CORREGIMIENTOS DE GUACHINTE Y SAN ISIDRO, VEREDA EL GUABAL – MUNICIPIO DE JAMUNDI-VALLE DEL CAUCA".

Este documento presenta de manera integral el diseño hidráulico correspondiente al **Componente III** del **Lote 1**, cuyo alcance abarca específicamente la Vereda **El Guabal** como zona priorizada del corregimiento de San Isidro.

Con base en el concepto de viabilidad técnica emitido por Jaramillo Mora para la conexión de las redes de la vereda El Guabal al sistema de alcantarillado proyectado del proyecto denominado El Ocaso, se desarrolló el diseño hidráulico para la extensión de las redes sanitarias de la vereda. La descarga del sistema se contempla hacia una cámara inicial proyectada del colector El Ocaso, de la constructora Jaramillo Mora.

El diseño contempla un sistema de alcantarillado sanitario convencional, destinado a recolectar las aguas residuales y conducirlas por gravedad hasta una Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR). Desde esta estación, el caudal sanitario será impulsado hasta la cámara proyectada del proyecto El Ocaso, donde se realizará el empalme con el sistema proyectado. Para el momento de la construcción del sistema de alcantarillado de la vereda El Guabal, se deberá garantizar que dicha cámara se encuentre construida y debidamente conectada al sistema de alcantarillado urbano del municipio, el cual conducirá finalmente las aguas residuales hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Desde el punto de vista de la planeación y la estimación de la demanda, el sistema se dimensionó considerando como población de diseño los suscriptores actualmente existentes, estimados en 480 habitantes en la vereda El Guabal y 16 habitantes en la zona más cercana a El Rodeo,

aproximadamente. Esta consideración responde a las restricciones establecidas por la normativa de ordenamiento territorial para el desarrollo de nuevos proyectos urbanísticos en el sector y teniendo en cuenta que el área se encuentra clasificada por el IGAC como suelo de alta vocación agrícola, correspondiente a las clases agrológicas I, II y III, en las cuales se restringe la expansión urbana.

El sistema desarrollado a nivel de ingeniería de detalle corresponde exclusivamente a un sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, las redes proyectadas deberán recibir únicamente aportes de aguas residuales domésticas, por lo que no se recomienda la conexión de aguas lluvias ni de cualquier otro caudal ajeno al sistema sanitario.

El manejo y la evacuación de las aguas lluvias deberán realizarse mediante un sistema completamente independiente. En ningún caso se permitirá la conexión de tuberías destinadas a la conducción de aguas pluviales, provenientes de cubiertas, patios, vías u otras superficies, a las redes de alcantarillado sanitario proyectadas.

La estimación de caudales se realizó bajo los parámetros del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017 y RAS 2021), asumiendo una dotación neta de 140 L/hab/día por ser un área con altitud menor a 1.000 msnm y aplicando un coeficiente de retorno de 0,85. Para el sector El Guabal, se obtuvo un caudal medio diario de 0,88 L/s, un caudal máximo horario (QMH) de 2,04 L/s y un caudal de diseño final de 2,50 L/s, tras adicionar aportes reglamentarios por conexiones erradas (0,20 L/s.ha) e infiltración (0,10 L/s.ha). En cuanto al diseño y modelación de las redes colectoras, la capacidad hidráulica se evaluó utilizando la ecuación de Manning para tuberías de PVC con un coeficiente de rugosidad (n) de 0,009. Los resultados de la modelación confirman que todos los tramos proyectados operan bajo condiciones de flujo a lámina libre con una relación de llenado (q/Q) inferior al límite permisible del 85%. Asimismo, la red garantiza condiciones de autolimpieza continuas al superar el esfuerzo tractivo mínimo normativo de 0,10 kgf/m² en la totalidad del sistema.

El dimensionamiento electromecánico e hidráulico de la EBAR proyectada incluyó la aplicación de metodologías específicas para asegurar eficiencia y protección operativa.

La configuración de la extensión de redes comprende:

- Pozo húmedo: El diseño volumétrico determinó un volumen útil de 0,45 m³, garantizando un tiempo de retención mínimo superior a 2,5 minutos y limitando el ciclo de llenado/vaciado a aproximadamente 20 minutos. Esto previene la generación de olores, sedimentación de lodos y la formación de condiciones sépticas.
- Impulsión: El diámetro de la línea de presión se calculó empleando la metodología de Bresse, adoptando una tubería de PVC de 2 pulgadas que opera a una velocidad de 1,41 m/s, situándose dentro del rango normativo de 1,5 a 2,4 m/s (aunque coherente con rangos recomendados internacionalmente de 1,0 a 6,0 m/s).
- Pérdidas y bombeo: Para estimar la cabeza dinámica total máxima (6,70 m), se aplicó la ecuación de Hazen-Williams para pérdidas por fricción y la metodología de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas menores a través de accesorios.
- Equipos: Se seleccionaron dos bombas sumergibles de operación alterna con capacidad de 2,50 L/s cada una. El sistema fue evaluado bajo escenarios críticos (afluencia de 1,25 L/s), donde operaría a 5,0 arranques por hora, cumpliendo con el límite técnico que recomienda un máximo de 10 arranques por hora para este tipo de equipos.
- Protección mecánica: Las entregas al pozo incluyen dos tuberías de alcantarillado de 8 pulgadas equipadas con sistemas de cribado grueso de limpieza manual (canastillas), esenciales para retener sólidos de gran magnitud y mitigar riesgos de desgaste u obstrucción en los impulsores.

1. Población beneficiada

1.1. Localización

La vereda El Guabal es una localidad rural y zona de expansión urbana del municipio de Jamundí, Valle del Cauca, ubicada cerca del corregimiento de San Isidro y el barrio El Rodeo. Es un territorio con riqueza cultural habitado por comunidades afrocolombianas. La Figura 1 presenta su localización.



Figura 1. Localización del área objeto del alcance de la vereda El Guabal
Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth

1.2. Población beneficiada

La población y el caudal de diseño se desarrollaron teniendo en cuenta el número de usuarios contabilizados para el Guabal (122 usuarios) y el rodeo (4 usuarios) durante las actividades de topografía (Anexo 1). La solución del sistema de alcantarillado se realizará solo para los usuarios

existentes, considerando que la zona se establece que está prohibido la cimentación y expansión urbana en sectores de producción agrícola 2 y 3 según la Subdirección agrícola de Agustín Codazi en su Clasificación de suelos más productivos 1,2,3. Esos suelos son escasos y de alto valor.

La población a servir se estimó a partir del número de suscriptores del sector, obteniendo un total estimado y proyectado de 480 habitantes beneficiados por el proyecto. En el caso del barrio del Rodeo, se tiene una estimado de 16 habitantes. En la Tabla 1 se presenta la población estimada.

Tabla 1. Población estimada Vereda el Guabal

Sector	Zona	Número de viviendas	Número de suscriptores existentes	Poblaciones habitantes (4 habitantes / suscriptor)
Vereda el Guabal	Drenaje hacia colector el ocaso *Constructora Jaramillo Mora*	120	120	480
	Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes	4	4	16

Fuente: Elaboración propia

2. Conceptualización del diseño

Los puntos potenciales de conexión se encuentran sobre la vía principal del Guabal que se encuentra con la vía al centro penitenciario, donde llegaría a la Estación de bombeo de agua residual y luego hacía la cámara proyectada El Ocaso. En el caso del barrio el Rodeo la conexión va hacia colector proyectado callejón Agroandes. De acuerdo con la evaluación técnica de las alternativas de trazado, la propuesta de extensión de redes para la población objeto del proyecto contempla el recorrido presentado en la Figura 2.

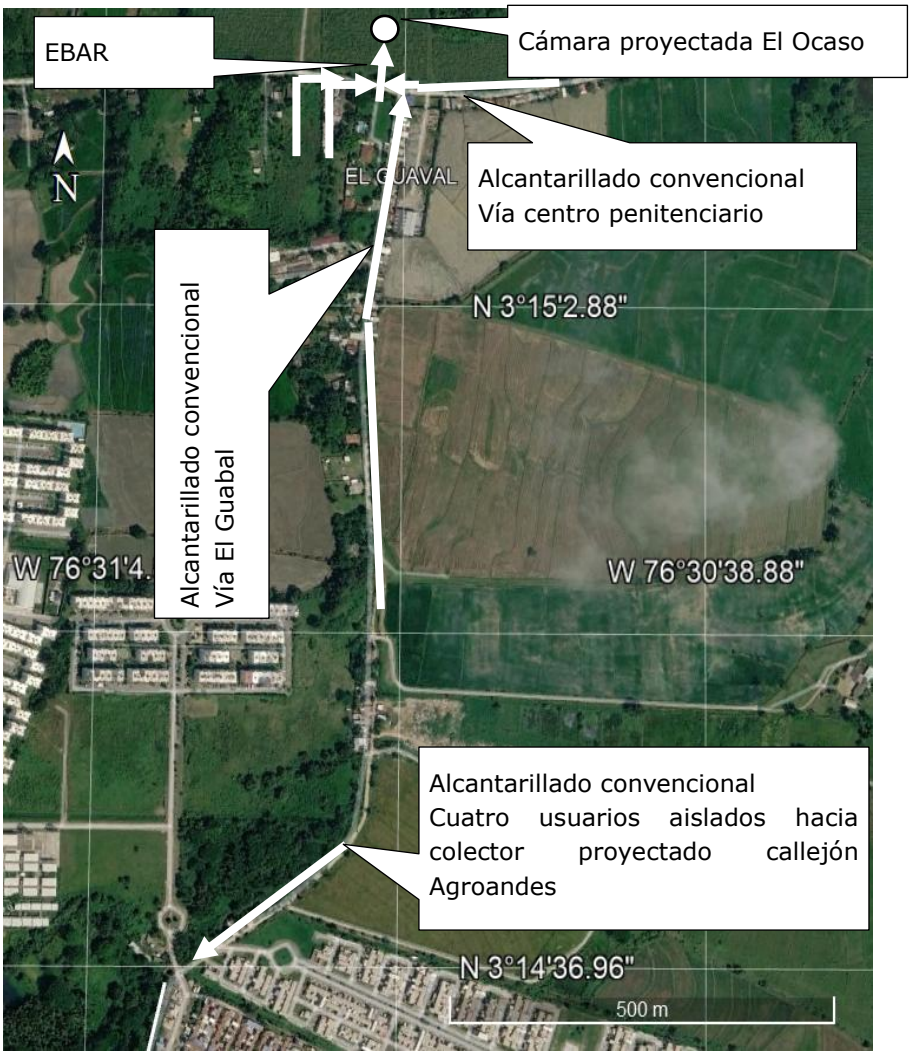


Figura 2. Vista en planta Alternativa 1 Alcantarillado Convencional con impulsión al sistema existente vereda El Guabal
Fuente: Adaptado de Google Earth

3. Caudales de diseño

El caudal de diseño se estimó a partir del caudal medio determinado por el producto entre la población estimada y la dotación neta máxima establecida en el Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017, considerando además un coeficiente de retorno de 0,85 (Artículo 41 Res. 0799 de 2021). En este caso, al tratarse de una zona con altura promedio por debajo de los 1.000 msnm, se adoptó una dotación neta máxima de 140 Litros/habitante/día.

$$Q_{Medio\ AR\ doméstica} = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86.400} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde D_{NETA} es la dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día) y P es el número de habitantes proyectados al período de diseño. El coeficiente de retorno es de 0,85.

Caudal medio de agua residual doméstica. En la Tabla 2 se presenta el caudal medio de agua estimado para Drenaje hacia colector el Ocaso, con un valor de 0,88 L/s. Para el Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes 0,03 L/s.

Tabla 2. Caudal medio diario de agua residual doméstica estimado

Sector	Zona	Dotación (l/hab/día)	Dotación + pérdidas (l/hab/día)	Q medio de ar	
				l/s	m³/d
Vereda el Guabal	Drenaje hacia colector el Ocaso *Constructora Jaramillo Mora*	140	186,67	0,88	76
	Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes	140	186,67	0,03	3

Fuente: Elaboración propia

Caudal máximo horario de agua residual doméstica (QMH). El caudal máximo horario es lavase para establecer el caudal de diseño de la red de alcantarillado. Este caudal se determina a partir del caudal medio diario, aplicando un factor de mayoración (Tabla 3).

✓ *Factor de mayoración (F)*

El factor de mayoración que se utiliza para calcular el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario final tiene en cuenta las variaciones normales en el consumo de agua potable por parte de la población a lo largo del día y para los diferentes días de la semana.

$$F = \frac{2,30}{Q_{medio\ AR}^{0,062}} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Tabla 3. Caudal máximo diario de agua residual doméstica estimado

Sector	Zona	Q medio de AR		Factor de mayoración	Q máximo horario de ar	
		l/s	m³/d	adimensional	l/s	m³/d
Vereda El Guabal	Drenaje hacia colector el Ocaso *Constructora Jaramillo Mora*	0,88	76,2	2,3	2,04	176,54
	Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes	0.03	2,5	2,9	0,08	7,27

Fuente: Elaboración propia

Caudal de aguas residuales no domésticas. Para los sectores evaluados se considera únicamente un caudal de agua residual doméstica porque se trata de una zona donde únicamente hay viviendas, no hay industria, ni comercio ni instituciones públicas o privadas.

Caudal de conexiones erradas. Los aportes por conexiones erradas se estimaron a partir del factor 0,2 L/s.ha, recomendado en el Artículo 41 – apartado 5- de la Resolución 0799 de 2021.

Tabla 4. Caudal de conexiones erradas estimado

Sector	Zona	área (m²)	caudal de conexiones erradas	
			l/s	m³/d
Vereda El Guabal	Drenaje hacia colector el Ocaso *Constructora Jaramillo Mora*	11.117	0,22	19
	Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes	247	0,005	0,4

Fuente: Elaboración propia

Caudal de infiltración. El aporte por infiltración se estimó a partir del factor 0,1 L/s.ha, recomendado en el Artículo 41 – apartado 6- de la Resolución 0799 de 2021.

Tabla 5. Caudal de infiltración estimado

Sector	Zona	Area tributaria por viviendas	Area tributaria por vías	CAUDAL DE INFILTRACIÓN	
				L/s	m³/d
Vereda El Guabal	Drenaje hacia colector el Ocaso *Constructora Jaramillo Mora*	11.177	8.387	0,20	16,9
	Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes	247	318	0,003	0,3

Fuente: Elaboración propia

CAUDAL DE DISEÑO. En la **Tabla 6** se presenta el resultado de los caudales de diseño considerados para el dimensionamiento de las redes de alcantarillado.

$$Q_{DISEÑO} = QMH + Q_{CONEXIONES\ ERRADAS} + Q_{INFILTRACIÓN} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 6. Caudal de diseño estimado

Sector	Zona	QMH	Q conexiones erradas	Q infiltración	CAUDAL DE DISEÑO	
		L/s			L/s	m³/d
Vereda El Guabal	Drenaje hacia colector el Ocaso *Constructora Jaramillo Mora*	2,04	0,22	0,20	2,5	212,66
	Drenaje hacia colector proyectado callejón Agroandes	0,08	0,005	0,003	0,09	7,97

Fuente: Elaboración propia

El QMH que deberá ser atendido por la estación de bombeo proyectada corresponde a 2,5 L/s. Por otro lado, un caudal máximo horario estimado de 2,04 L/s será conducido hacia la cámara proyectada colector El Ocaso.
El soporte de los caudales resumidos en este capítulo se puede chequear en los Anexos del Componente II.

4. Metodología de diseño

4.1. Criterios de diseño para el alcantarillado

En la Tabla 7 se presentan los criterios y ecuaciones considerados para modelar las redes de alcantarillado. Estos parámetros se adoptaron con base en el Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2017 (Res. 0330 de 2017) y RAS 2021 (Res. 0799 de 2021).

Tabla 7. Criterios y ecuaciones utilizados para determinación de la capacidad de redes de alcantarillado

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
Caudal de agua residual	L/s	$$Q_{AR} = \frac{C_R \times P_S \times D_N}{86.400}$$ Q_{AR}: Caudal de agua residual (L/s) C_R: Coeficiente de retorno P_S: Número de habitantes proyectados D_{NETA}: Dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día)
Coeficiente de retorno de aguas de consumo	Adim.	0,85 (RAS, 2017)
Caudal medio diario de agua residual en cada tramo de la red de alcantarillado existente	L/s	$$Q_{medio} = F \times A_{Tramo}$$ Donde, F: Factor AR por ha (L/s-ha) A_{Tramo}: Área tributaria por tramo (ha) $$F = \frac{Q_{ARi}}{A}$$ Donde, Q_{ARi}: Caudal AR proyectado (Lps) A: Área tributaria total
Factor máximo horario (K)	Adim.	$$K = \frac{2,3}{(Q_{medio})0,062}$$ Donde, K: Factor de mayoración (adm) Qmed: Caudal medio diario de agua residual (LPS) Fuente: Normas EMCALI

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
Caudal máximo	L/s	$Q_{máx} = Q_{med} \times K$ Donde: Qmed: Caudal medio diario de agua residual (l/s) K: Factor de mayoración (adim)
Caudal de conexiones erradas (Q_{CE})	L/s.ha	0,20 (RAS, 2017)
Q infiltración (Q_i)	L/s.ha	0, 1 - 0,30 (RAS, 2017)
Q Agua Residual	L/s	$Q_{AR} = Q_{máx} + Q_{CE} + Q_i$ Donde: $Q_{máx}$: Caudal máximo (L/s) Q_{CE}: Caudal de conexiones erradas (L/s) Q_i: Caudal de infiltración (L/s) $Q_{máx}$: Caudal máximo (L/s)
Q Diseño	L/s	Si q_c es menor a 1,5 L/s, se adopta este último valor como caudal de diseño para el tramo (RAS, 2017).
Coeficiente de Rugosidad de Manning	Adim.	Tubería Plástica: n = 0,009
Caudal sección plena	m^3/s	$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S_o^{1/2}$ Donde: A: Área de la tubería (m^2) R: Radio hidráulico (m) S: Pendiente n: Coeficiente de rugosidad
Velocidad sección plena	m/s	$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_o^{1/2}$ Donde: R: Radio hidráulico (m) S: Pendiente (m) n: Coeficiente de rugosidad
Fuerza Tractiva	kg_f/cm^2	$F = (\frac{D}{4}) \times S \times \gamma$ Donde: D: Diámetro de la tubería (m)

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
		S: Pendiente del tramo γ: Peso específico del agua (kg/m^3)
Eficiencia hidráulica (máxima permisible)	Adim.	q/Q <= 0,85 → Alcantarillado sanitario q/Q <= 0,93 → Alcantarillado pluvial y combinado Donde: q: Caudal de Diseño (L/s) Q: Caudal a tubo lleno (L/s)
Caída en el tramo	m	$h_t = \frac{L \times S}{100}$ Donde: L: Longitud del tramo (m) S: Pendiente del tramo (%)
Caída en el tramo	m	$h_t = CBi - CBf$ Donde: ht: Caída en el tramo (m) CBi: Cota Batea Inicial (m) CBf: Cota Batea Final (m)
Caída de la cámara	m	C = E_1 – (E_2 +$k\frac{V^2}{2g}$) E1: energía especifica en la llegada, m E2: energía específica en la salida, m K: constante de pérdida local
Altura a clave	m	$Hi = CR - CC$ Donde: CR: Cota rasante (m) Cc: Cota clave (m)
Pendiente del tramo	%	$S = (\frac{CBi - CBf}{L}) \times 100$ Donde: CBi: Cota Batea Inicial (m) CBf: Cota batea inicial (m) L: Longitud del tramo (m)
Profundidad óptima entre rasante y colector	m	1,20 → Vías vehiculares 0,75 → Vías peatonales
Fuerza tractiva mínima	kg/m^2	0,10 → Alcantarillado sanitario 0,20→ Alcantarillado pluvial (RAS, 2017)
Velocidad máxima	m/s	5 → (Fuente: RAS, 2017)

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
		10 (Topografías con pendientes superiores al 30%) (Fuente: RAS, 2017).

4.2. Criterios de diseño para la estación de bombeo

4.2.1. Número de unidades de bombeo

El número mínimo de bombas es dos, cada una con una capacidad igual al caudal de diseño de la estación de bombeo (RAS 2017).

4.2.2. Tiempo de retención del agua en el pozo de bombeo

De acuerdo con el RAS 2017, el volumen mínimo útil de agua contenida dentro del pozo de bombeo debe corresponder a la capacidad de bombeo en el punto máximo de operación de la bomba (m^3/min), multiplicado por un factor de 2,5. Este factor corresponde entonces, al tiempo mínimo de permanencia del agua en el pozo.

Por su parte, el tiempo de retención no debe ser mayor a 20 minutos, ya que, la permanencia del agua residual dentro del pozo genera olores, gases y acumulación de lodos, por lo que este tiempo no debe ser muy largo (Corredor, 2014).

En estaciones de bombeo, en las que la operación es intermitente, se recomienda un máximo de 10 arranques por hora en bombas sumergibles; por tanto, el tiempo de un ciclo de bombeo deberá estar ser alrededor de 10 - 12 minutos (Corredor, 2014).

4.2.3. Dimensionamiento del pozo

El volumen del pozo de succión debe ser del tamaño correcto, ya que un volumen muy grande puede ocasionar acumulación de lodos en el pozo, mientras que un volumen muy pequeño ocasiona arranques y paradas muy frecuentes de las bombas. Con el tiempo de retención mínimo se estableció el volumen mínimo del pozo de bombeo (ver Ecuación 4).

$$V_P = Q_B \times T_R$$ Ecuación 4

Donde:
VP: volumen mínimo del pozo (m^3)
QB: capacidad de bombeo en el punto máximo de operación de la bomba (m^3/min)
TR: tiempo mínimo de retención (2,5 min)

4.2.4. Diámetro de la tubería de impulsión

Se aplica la fórmula de Bresse para determinar el diámetro de la tubería de impulsión (Ver Ecuación 5).

$$D = K \times Q^{0,50}$$ Ecuación 5

Donde:
D: Diámetro interno del tubo (m)
Q: Caudal de bombeo (m^3/s)
K: Coeficiente por el costo de inversión y costo de operación y mantenimiento va de 0,80 a 1,0

4.2.5. Velocidad en la tubería de impulsión

En la literatura se establecen algunos rangos de velocidad recomendados en la tubería de impulsión. Así pues, EPM (2009) establece que la velocidad deberá estar comprendida entre 1,0 m/s y 6,0 m/s; EMCALI recomienda un rango entre 1,5 m/s y 3,0 m/s y, de acuerdo con el RAS 2017, la velocidad en la tubería de impulsión deberá estar entre 1,5 m/s y 2,4 m/s.

4.2.6. Altura dinámica total

La altura dinámica representa todos los obstáculos que deberá superar el fluido para llegar al punto de descarga. La altura dinámica se estima de acuerdo con la Ecuación 6:

$$H_D = H_E + H_f$$ Ecuación 6

Donde:
HD: Altura dinámica total (m)
HE: Altura estática (m)
Hf: Pérdidas en las tuberías (m)

4.2.6.1. Altura estática

La altura estática de bombeo está dada por la Ecuación 7:

$$H_E = H_{succión} + H_{descarga} \qquad \text{Ecuación 7}$$

Donde,
HE: Altura estática (m)
HS: Altura de succión (m)
HD: Altura en la descarga (m)

Sin embargo, debido a que el nivel de agua en el pozo varía, presentando nivel mínimo y máximo, se calculan las alturas estáticas para cada uno, como sigue:

$$H_E = (C_{des} - N) \qquad \text{Ecuación 8}$$

Donde,
N: nivel de agua en el pozo (m)
Cdes: nivel de agua en la descarga (m)

4.2.6.2. Pérdidas de energía en el sistema

Para el cálculo de las pérdidas se hace uso de las ecuaciones de pérdidas de Hazen Williams (Ecuación 9) y de Darcy Weisback (Ecuación 10) para tuberías y accesorios respectivamente.

$$H_f = 10.675 \frac{Q^{1.852} L}{C^{1.852} D^{4.87}} \qquad \text{Ecuación 9}$$

$$H_{acc} = K \times \frac{v^2}{2g} = K \frac{Q^2}{2gA^2} \qquad \text{Ecuación 10}$$

Donde,
Hf: pérdidas por fricción
Q: caudal de diseño (m^3/s)
L: longitud de la tubería de impulsión (m)
C: coeficiente de rugosidad
D: diámetro de la tubería de impulsión (m)
Hacc: pérdidas por accesorios
K: Coeficiente de pérdidas por accesorios
V: Velocidad del fluido (m/s)
g: Constante de gravedad (9,81 m/s^2)

4.2.7. Potencia de la bomba

La potencia requerida por la bomba debe ser la suficiente para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación. Esta potencia se calcula de acuerdo con la Ecuación 11.

$$P = \frac{Q\gamma H}{75\eta} \qquad \text{Ecuación 11}$$

Donde,
P: Potencia requerida por la bomba (HP)
Q: Caudal de operación (L/s)
γ: Peso específico (Kg/m^3)
H: Altura dinámica total (m)
η: Eficiencia del bombeo (%)

5. Resultados del diseño

5.1. Red de alcantarillado que descarga sobre el alcantarillado proyectado del proyecto El Ocaso

En este subcapítulo se describen los resultados obtenidos en la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado sanitario proyectado, diseñado para la recolección y conducción de aguas residuales domésticas provenientes de los diferentes sectores tributarios del área de estudio.

Los resultados obtenidos permitieron verificar el adecuado funcionamiento hidráulico de la red sanitaria, evidenciando que todos los tramos operan bajo condiciones de flujo parcialmente lleno y con capacidades hidráulicas superiores a los caudales máximos calculados. Asimismo, se comprobó el cumplimiento de los criterios mínimos de velocidad y fuerza tractiva necesarios para garantizar condiciones de autolimpieza y evitar la sedimentación de sólidos dentro de las conducciones.

Finalmente, la modelación permitió validar las cotas de batea, profundidades de instalación y alturas a clave de las tuberías, asegurando la viabilidad técnica y constructiva del sistema proyectado. En la Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11 se presenta los resultados de la modelación de las redes proyectadas de la Vereda el Guabal.

Tabla 8. Resultados de área tributaria y número de viviendas de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal

Tramo (entre cámaras)		Longitud		Área tributaria			Número de viviendas	
				Viviendas				
Desde	Hasta	Eje a eje	Real	Area sector	Total	Total		
		m		m²	ha	m²	Propia	Total
CM1	CM2	94,25	92,75	10.331	0,19	1.880	14	14
CM2	CM3	35,80	34,30		0,19	1.926	1	15
CM3	CM4	43,00	41,50		0,19	1.926		15
CM4	CM5	40,76	39,26		0,19	1.926		15
CM5	CM6	68,74	67,24		0,21	2.087	1	16
CM6	CM7	94,71	93,21		0,25	2.470	2	18
CM7	CM8	81,02	79,52		0,27	2.728	2	20
CM8	CM9	7,51	6,01		0,27	2.728		20
CM9	CM10	16,77	15,27		0,29	2.888	3	23
CAJA1	CAJA2	19,85	19,05		0,32	3.208	3	3
CAJA2	CAJA3	11,27	10,47		0,32	3.208	1	4
CAJA3	CM10	26,70	25,55		0,34	3.417		4

Tramo (entre cámaras)		Longitud		Área tributaria			Número de viviendas	
				Viviendas				
Desde	Hasta	Eje a eje	Real	Area sector	Total	Total		
		m		m²	ha	m²	Propia	Total
CM10	CM11	119,99	118,49		0,48	4.757	18	45
CM11	CM12	120,00	118,50		0,63	6.267	14	59
CM12	CM13	70,82	69,32		0,69	6.903	9	68
CM14	CM15	62,56	61,06		0,72	7.247	7	7
CM15	CM16	78,77	77,27		0,82	8.151	12	19
CM16	CM13	112,88	111,38		0,89	8.861	7	26
CM13	CM17	92,94	91,44		0,89	8.861	2	96
CM22	CM17	96,83	95,33		1,03	10.331	18	114
CM17	EBAR	20,11	18,31		1,03	10.331		114
CM18	CM19	59,59	58,09		0,02	247	2	2
CM19	CM20	29,78	28,28	846	0,03	334	1	3
CM20	CM21	28,18	26,68		0,08	846	2	5
CM21	EBAR	70,66	70,06		0,08	846	1	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados de pendientes, coeficiente de rugosidad y sección plena de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal

Tramo (entre cámaras)		Material	Diámetro			Pendiente tramo	Coef. De Rugosidad	Sección plena		
			Φ	Externo	Interno	Real		Q	V	T
Desde	Hasta					So				
		-	pulg	m	m	%	n	L/s	m/s	kg/ cm2
CM1	CM2	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM2	CM3	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM3	CM4	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM4	CM5	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM5	CM6	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM6	CM7	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM7	CM8	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM8	CM9	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM9	CM10	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CAJA1	CAJA2	PVC	6	0,16	0,15	0,50	0,01	12,79	0,77	0,18
CAJA2	CAJA3	PVC	6	0,16	0,15	0,50	0,01	12,79	0,77	0,18
CAJA3	CM10	PVC	6	0,16	0,15	0,65	0,01	14,58	0,88	0,24
CM10	CM11	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM11	CM12	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM12	CM13	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM14	CM15	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM15	CM16	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM16	CM13	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM13	CM17	PVC	8	0,20	0,18	0,40	0,01	20,97	0,81	0,18
CM22	CM17	PVC	8	0,20	0,18	0,65	0,01	26,73	1,03	0,30
CM17	EBAR	PVC	8	0,20	0,18	0,40	0,01	20,97	0,81	0,18
CM18	CM19	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM19	CM20	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM20	CM21	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM21	EBAR	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resultados de relaciones, valores reales y energía de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal

Tramo (entre cámaras)		Relaciones				Valores Reales			Energía	
						v	t	yn	v2/2g	Total (H)
Desde	Hasta	q/Q	v/V	d/D	t/T	m/s	kg/m²	m	m	m
CM1	CM2	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM2	CM3	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM3	CM4	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM4	CM5	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM5	CM6	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM6	CM7	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM7	CM8	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM8	CM9	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM9	CM10	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CAJA1	CAJA2	0,117	0,55	0,253	0,592	0,43	0,11	0,04	0,01	0,05
CAJA2	CAJA3	0,117	0,55	0,253	0,592	0,43	0,11	0,04	0,01	0,05
CAJA3	CM10	0,103	0,54	0,241	0,568	0,48	0,13	0,03	0,01	0,05
CM10	CM11	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM11	CM12	0,071	0,49	0,201	0,485	0,44	0,11	0,04	0,01	0,05
CM12	CM13	0,080	0,51	0,215	0,515	0,46	0,12	0,04	0,01	0,05
CM14	CM15	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM15	CM16	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM16	CM13	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM13	CM17	0,123	0,57	0,265	0,615	0,46	0,11	0,05	0,01	0,06
CM22	CM17	0,110	0,55	0,253	0,592	0,57	0,18	0,05	0,02	0,06
CM17	EBAR	0,144	0,59	0,287	0,658	0,48	0,12	0,05	0,01	0,06
CM18	CM19	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM19	CM20	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM20	CM21	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM21	EBAR	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resultados de cotas, alturas y chequeo de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario Vereda El Guabal

Tramo (entre cámaras)		Cota Rasante		Cotas de batea		Altura a clave		Chequeo			
Desde	Hasta	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	y/D	Fuerza Tractiva	Altura a clave I	Altura a clave F
		m	m	m	m	m	m				
CM1	CM2	960,23	960,21	958,83	958,37	1,20	1,64	OK	OK	OK	OK
CM2	CM3	960,21	960,41	958,37	958,19	1,64	2,02	OK	OK	OK	OK
CM3	CM4	960,41	960,37	958,19	957,99	2,02	2,18	OK	OK	OK	OK
CM4	CM5	960,37	960,53	957,99	957,79	2,18	2,54	OK	OK	OK	OK
CM5	CM6	960,53	960,07	957,79	957,45	2,54	2,42	OK	OK	OK	OK
CM6	CM7	960,07	959,85	957,45	956,99	2,42	2,66	OK	OK	OK	OK
CM7	CM8	959,85	960,27	956,99	956,59	2,66	3,48	OK	OK	OK	OK
CM8	CM9	960,27	960,21	956,59	956,56	3,48	3,45	OK	OK	OK	OK
CM9	CM10	960,21	960,09	956,56	956,48	3,45	3,41	OK	OK	OK	OK
CAJA1	CAJA2	959,95	960,20	959,04	958,94	0,75	1,10	OK	OK	OK	OK
CAJA2	CAJA3	960,20	960,29	958,94	958,89	1,10	1,24	OK	OK	OK	OK
CAJA3	CM10	960,29	960,09	958,89	958,73	1,24	1,20	OK	OK	OK	OK
CM10	CM11	960,09	959,80	956,48	955,89	3,41	3,71	OK	OK	OK	OK
CM11	CM12	959,80	959,85	955,89	955,30	3,71	4,35	OK	OK	OK	OK

Tramo (entre cámaras)		Cota Rasante		Cotas de batea		Altura a clave		Chequeo			
Desde	Hasta	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	y/D	Fuerza Tractiva	Altura a clave I	Altura a clave F
		m	m	m	m	m	m				
CM12	CM13	959,85	959,74	955,30	954,95	4,35	4,59	OK	OK	OK	OK
CM14	CM15	958,88	959,11	957,48	957,17	1,20	1,74	OK	OK	OK	OK
CM15	CM16	959,11	959,57	957,17	956,79	1,74	2,58	OK	OK	OK	OK
CM16	CM13	959,57	959,74	956,79	956,23	2,58	3,31	OK	OK	OK	OK
CM13	CM17	959,74	960,02	954,95	954,59	4,59	5,23	OK	OK	OK	OK
CM22	CM17	960,33	960,02	959,23	958,61	0,90	1,21	OK	OK	OK	OK
CM17	EBAR	960,02	960,12	954,59	954,51	5,23	5,41	OK	OK	OK	OK
CM18	CM19	960,58	960,48	959,18	958,89	1,20	1,39	OK	OK	OK	OK
CM19	CM20	960,48	960,36	958,89	958,75	1,39	1,41	OK	OK	OK	OK
CM20	CM21	960,36	960,35	958,75	958,61	1,41	1,54	OK	OK	OK	OK
CM21	EBAR	960,35	960,12	958,61	958,26	1,54	1,66	OK	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

Dado que el alcantarillado proyectado llega a la cámara existente 'El Ocaso' (de Jaramillo Mora) a una profundidad de 5.94 m, y la cámara receptora tiene una profundidad de solo 1.58 m, se requiere implementar una estación de bombeo. Esta estación impulsará el caudal total de los 120 usuarios de la vereda El Guabal hacia la red proyectada del proyecto El Ocaso.

5.1.1. Resultados del dimensionamiento de la EBAR

Caudal de diseño. El caudal de diseño corresponde al caudal máximo horario estimado para los 120 usuarios que descargarán sobre la EBAR proyectada. Los detalles del diseño de la EBAR se incluyen como anexo (Anexo 2).

$$Q_{\text{Diseño EBAR proyectada}} = 2{,}50 \text{ Lps.}$$

Número de unidades de bombeo. Se proyectaron dos bombas sumergibles, cada una con una capacidad igual al caudal de diseño de 2,50 L/s. Las cuales operarán de manera alterna.

Configuración del pozo de bombeo. De acuerdo con Grundfos (s.f.), el volumen del pozo de succión debe ser del tamaño correcto, ya que un volumen muy grande puede ocasionar acumulación de lodos en el pozo,

mientras que un volumen muy pequeño ocasiona arranques y paradas muy frecuentes de las bombas. De esta manera, con el tiempo de retención mínimo se estableció el volumen mínimo del pozo de bombeo.

$$V_{\text{mínimo Pozo}} = 0{,}15\ \frac{m^3}{min} \times 2{,}5\ \text{min} = 0{,}38\ m^3$$

Los datos del dimensionamiento del pozo se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Dimensionamiento del pozo de bombeo

SUMERGENCIA MÍNIMA (RAS 2017)	ALTURA MÁXIMA LÁMINA DE AGUA	ANCHO DE LA BOMBA	LARGO	NÚMERO DE UNIDADES DE BOMBEO	ALTURA MÍNIMA LÁMINA AGUA	CAUDAL BOMBEO
	m				m	L/s
0,13	0,49	0,25	0,60	2	0,29	2,50

ALTURA ÚTIL MÁXIMA DEL POZO DE SUCCIÓN	GEOMETRÍA DEL POZO DE SUCCIÓN	LONGITUD DEL POZO DE BOMBEO	ANCHO DEL POZO DE BOMBEO	ÁREA DEL POZO DE BOMBEO	ALTURA ÚTIL ADOPTADA EN EL POZO DE BOMBEO	VOLUMEN ÚTIL DEL POZO DE BOMBEO
m		m	m	m^2	m	m^3
0,20	CIRCULAR	1,50	1,50	2,25	0,20	0,45

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, para las condiciones obtenidas, el volumen útil del pozo de bombeo (0,45 m^3) es mayor que el mínimo requerido.

Diámetro de la tubería de impulsión. Se empleó la fórmula de Bresse presentada en el Capítulo 4.2 para determinar el diámetro de la tubería de impulsión. En la Tabla 13 se presentan los resultados del cálculo de la tubería de impulsión.

Tabla 13. Diámetro tubería impulsión

VELOCIDAD MÍNIMA EN LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN (RAS 2017)	VELOCIDAD MÁXIMA EN LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN (RAS 2017)	DIÁMETRO CON FÓRMULA DE BRESSE D=0,95*Q^0,50	**DIÁMETRO TUBERÍA DE IMPULSIÓN ADOPTADO**	VELOCIDAD CON Q_{BOMBEO}	CHEQUEO VELOCIDAD
m/s			**pulgadas**	**m/s**	
1,50	2,40	1,77	**2**	1,41	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

En la literatura se establecen algunos rangos de velocidad recomendados en la tubería de impulsión. Así pues, EPM (2009) establece que la velocidad deberá estar comprendida entre 1,0 m/s y 6,0 m/s; Emcali recomienda un rango entre 1,5 m/s y 3,0 m/s y, de acuerdo con el RAS 2017, la velocidad en la tubería de impulsión deberá estar entre 1,5 m/s y 2,4 m/s.

A partir del caudal de bombeo y con el diámetro de la impulsión adoptado se estimó una velocidad del orden de 1,41 m/s, la cual se encuentra dentro del rango recomendado.

Niveles de arranque y parada de las bombas. La selección de los niveles de arranque se hace teniendo en cuenta en el punto de máxima frecuencia. En el pozo se tiene 1 nivel de arranque, en el que se pueden alternar los dos equipos de bombeo.

El nivel de arranque tiene asociado un volumen (en m^3) que se establece considerando la capacidad de bombeo en el punto máximo de operación de la bomba y el número de equipos disponibles para la alternancia. En la Figura 3 se presenta un esquema de volúmenes y niveles de arranque de la bomba en el pozo de succión.

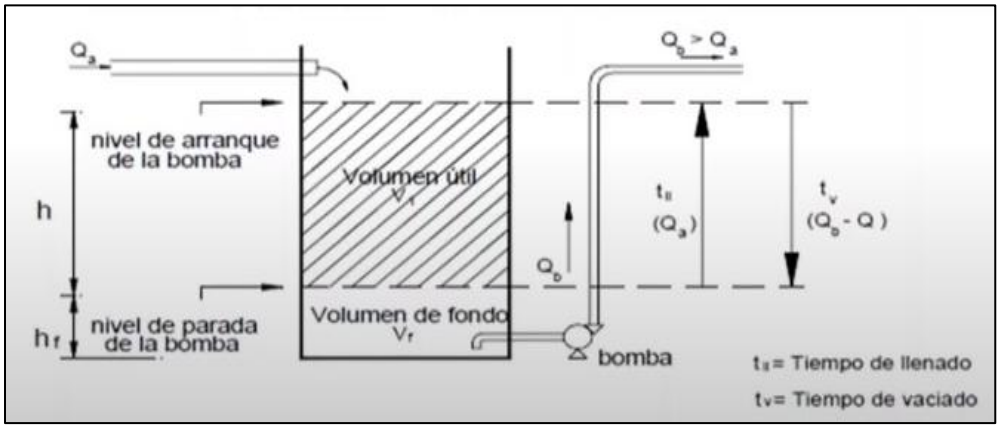


Figura 3. Esquema de volúmenes y nivel de arranque de la bomba en el pozo de succión

El punto máximo de operación de la bomba se presenta cuando el caudal de entrada es exactamente la mitad del caudal de bombeo. En la literatura

se establece que el número máximo de arranques por hora debe ser 10 para bombas sumergibles. Esta forma de trabajar los equipos se recomienda para minimizar los ciclos de bombeo, evitar consumos grandes de energía y así mismo, evitar el desgaste electromecánico en los equipos.

En la Tabla 14 se presenta la alternancia de los equipos de bombeo para el volumen útil del pozo.

Tabla 14. Estimación de la frecuencia de bombeo EBAR

VOLUMEN ÚTIL DEL POZO DE SUCCIÓN	QMÁX DE ENTRADA AL POZO	QBOMBEO	QCRÍTICO
m^3	L/s	L/s	L/s
0,45	2,50	2,50	1,25

$Q_{AFLUENTE}$	TIEMPO DE LLENADO	TIEMPO DE VACIADO	TIEMPO DEL CICLO COMPLETO	FRECUENCIA
L/s		Minutos		(Arranques/ hora)
0,44	17,05	3,64	20,69	2,9
1,25	6,00	6,00	12,00	5,0
1,88	4,00	12,00	16,00	3,8
2,40	3,13	75,00	78,12	0,8

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, para el caudal crítico de bombeo (1,25 L/s), se tiene que un equipo de bombeo tendrá un máximo estimado de 5,0 arranques por hora. En estaciones de bombeo, en las que la operación es intermitente, se recomienda un máximo de 10 arranques por hora en bombas sumergibles (Corredor, 2014).

Por otra parte, el tiempo de retención hidráulica dentro del pozo húmedo no debe exceder los 20 minutos, debido a que una permanencia prolongada del agua residual favorece la generación de olores ofensivos, acumulación de gases y sedimentación de lodos en el interior de la estructura, afectando las condiciones operativas y sanitarias del sistema (Corredor, 2014).

Para este caso, se verificó que, bajo condiciones en las cuales el caudal afluente corresponde aproximadamente al 20 % del caudal de bombeo de diseño, el tiempo total del ciclo operativo del sistema —considerando las etapas de llenado y vaciado del pozo húmedo— se mantiene cercano del límite máximo recomendado de 20 minutos, garantizando así condiciones adecuadas de funcionamiento hidráulico y operación de la estación de bombeo.

Funcionamiento del sistema:
-Dos (2) Equipos de bombeo
-Funcionamiento alterno en operación normal.
-Sin embargo, cuando el caudal que llega al sistema supera el QMH funcionarían los dos (2) Equipos en simultaneo.

Altura estática. En la Tabla 15 se presentan los niveles de agua en el pozo de bombeo, así como la longitud de la tubería de impulsión.

Tabla 15. Niveles de agua en el pozo de bombeo

DISEÑO ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES					
CAUDAL DE BOMBEO	COTA CLAVE MÁS ALTA EN EL PERFIL DE LA IMPULSIÓN	DIÁMETRO TUBERÍA DE IMPULSIÓN	COEFICIENTE RUGOSIDAD TUBERÍA IMPULSIÓN	LONGITUD TUBERÍA IMPULSIÓN	
L/s	msnm	m	PVC	m	
2,50	954,01	0,048	150	23,81	
COTA ARRANQUE	COTA PARADA EN LA EBAR	COTA FONDO CÁMARA DE LLEGADA (cámara proyectada El Ocaso)		HS NIVEL MÍN	HS NIVEL MÁX
m.s.n.m.				m	
954,21	958,60	958,40		4,39	4,19

Fuente: Elaboración propia

Pérdidas de energía en el sistema. Para el cálculo de las pérdidas se hizo uso de las ecuaciones de pérdidas de Hazen Williams y de Darcy Weisback para tuberías y accesorios respectivamente.

En la Tabla 16 y la Tabla 17 para un escenario normar y un escenario de emergencia respectivamente, se muestran los valores de los coeficientes de pérdida de carga para diferentes accesorios (K) asociados a la cabeza de velocidad para la línea de impulsión en la EBAR, de acuerdo con la configuración establecida para el sistema de bombeo adoptado. Para

conocer con más detalle la configuración de los accesorios, remitirse a los planos (Anexo 3).

Tabla 16. Coeficientes de resistencia K de accesorios en la tubería Impulsión de la EBAR en escenario normal

Descripción de Accesorio	Cantidad	Unidad	Valores de K (a)		Hacc
			Unitario*	Subtotal	Subtotal
Entrada recta	1	_	0,5	0,5	0,050
Válvula de Cheque abierta	1	_	2,5	2,5	0,252
Valvula de compuerta abierta	1	_	0,2	0,2	0,020
Reducción Excéntrica	1	_	5	5	0,505
Codos de 90° Radio Corto	2	_	0,9	1,8	0,182
Tee de derivación lateral	1	_	1,8	1,8	0,182
Salida Brusca	1	_	1,0	1	0,101
		Sumatoria Total		12,8	1,29

*Fuente: Manual de EPANET V2.0

Tabla 17. Coeficientes de resistencia K de accesorios en la tubería Impulsión de la EBAR en un escenario de emergencia

Descripción de Accesorio	Cantidad	Unidad	Valores de K (a)		Hacc
			Unitario*	Subtotal	Subtotal
Entrada recta	1	_	0,5	0,5	0,050
Válvula de Cheque abierta	1	_	2,5	2,5	0,252
Valvula de compuerta abierta	1	_	0,2	0,2	0,020
Reducción Excéntrica	1	_	5	5	0,505
Codos de 90° Radio Corto	2	_	0,9	1,8	0,182
Tee de derivación lateral	1	_	1,8	1,8	0,727
Salida Brusca	1	_	1,0	1	0,404
		Sumatoria Total		12,8	2.14

*Fuente: Manual de EPANET V2.0

Altura dinámica. A partir de los datos consignados en la Tabla 15 y en la Tabla 16, se pudo establecer la cabeza dinámica total de bomba y, con

ello, los datos para calcular la curva del sistema de tuberías. Estos datos se consignan en la Tabla 18 y en la Tabla 19.

Tabla 18. Cabeza dinámica total

CÁLCULO DE LA CABEZA DINÁMICA TOTAL DE LA BOMBA			
H_{tub}	H_{acc}	TDH_{Max}	TDH_{Min}
m	**m**	**m**	**m**
1,02	1,29	6,70	6,50

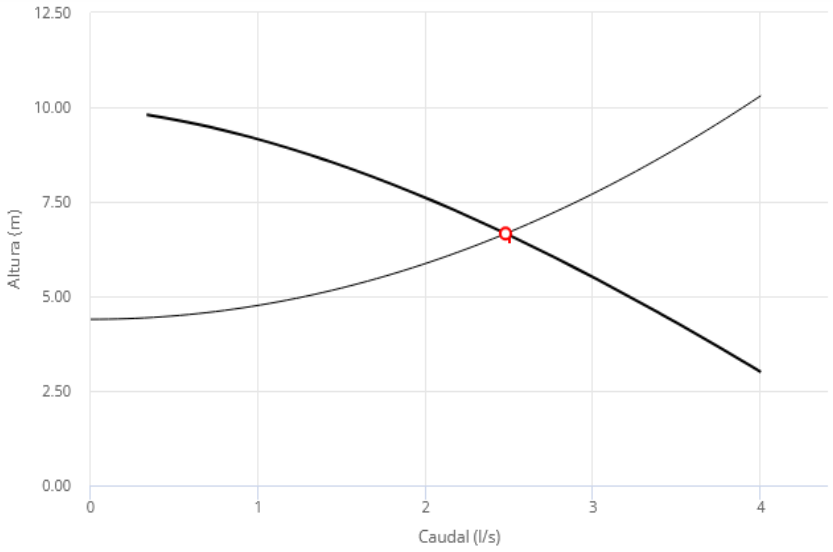
Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Datos para la curva del sistema de tuberías

CAUDAL L/s	VELOCIDAD m/s	H_{tub} m	H_{acc} m	TDH_{Max} m	TDH_{Min} m
0,00	0,00	0,000	0,00	4,39	4,19
0,50	0,28	0,052	0,05	4,49	4,29
1,00	0,56	0,187	0,21	4,78	4,58
1,50	0,84	0,395	0,47	5,25	5,05
2,00	1,13	0,673	0,83	5,89	5,69
2,50	1,41	1,017	1,29	6,70	6,50
3,00	1,69	1,425	1,86	7,68	7,48
3,50	1,97	1,895	2,53	8,82	8,62
4,00	2,25	2,426	3,31	10,12	9,92
4,50	2,53	3,017	4,19	11,59	11,39
5,00	2,81	3,667	5,17	13,22	13,02
5,50	3,10	4,374	6,25	15,02	14,82

Fuente: Elaboración propia

Bomba seleccionada. En la Figura 4 se presenta la curva y las especificaciones de la bomba seleccionada.



Datos de placa Motor

Voltaje	220-240 V
Fases	1
Frecuencia	50 Hz
Velocidad de rotación	2900 rpm
Potencia nominal	0,55 kW
Corriente nominal	3,3 A
Potencia absorbida P1	0,72 kW

DATOS DE LA BOMBA	
CAUDAL	HDT
Lps	m
0,6	9,6
0,9	9,2
1,3	8,7
1,7	8,2
2,0	7,5
2,5	6,7
2,9	5,7
3,4	4,6
3,9	3,3

Figura 4. Curva de la bomba - Datos del fabricante de la bomba
Fuente: Elaboración propia

Punto real de operación. Con los datos para la curva del sistema de tuberías y los datos de la bomba seleccionada, se procede a graficar estos datos para estimar el punto real de operación (PRO), que es el punto donde se intercepta la curva de la bomba y las curvas del sistema de tuberías; este PRO se presenta en la Figura 5.

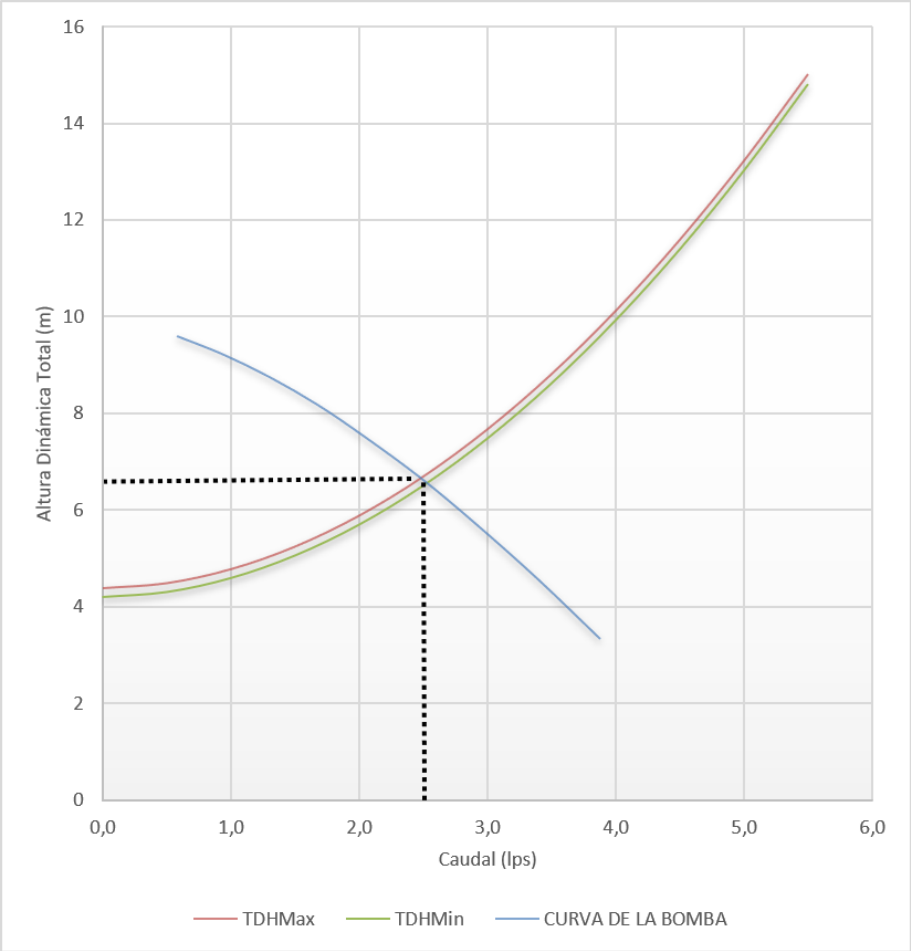


Figura 5. Curva del sistema de tuberías vs curva de la bomba – EBAR natas
Fuente: Elaboración propia

Potencia de la bomba. La potencia requerida por la bomba debe ser la suficiente para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación. En la Tabla 20 se presenta la potencia requerida por la bomba.

Tabla 20. Potencia requerida por las bombas

Caudal de diseño (lps)	Eficiencia Bomba (%)	Factor de Potencia	Factor de Conversión de kW a HP	Costo de energía ($/kW-H)
2,50	35	1,15	1,34	800

DIÁMETRO (pulg)	2
CDT (mca)	6,70
Potencia (HP)	0,7
Potencia (kW)	0,55

$$P = \frac{Q\gamma H}{\eta}$$ Ecuación 11

Donde,

P = Potencia requerida por la bomba (W)
Q = Caudal de operación (m³/s).
γ = Peso específico del agua (N/m³).
H = Altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores existentes en las tuberías de impulsión (m).
η = Eficiencia del bombeo.

Fuente: Elaboración propia

Manejo de residuos y protección de los equipos. La estación de bombeo de aguas residuales fue proyectada con dos tuberías de entrada de 8 pulgadas de diámetro, destinadas a recibir y conducir los caudales afluentes provenientes de los interceptores sanitarios proyectados. Cada una de estas conducciones contará con una canastilla o sistema de cribado grueso de limpieza manual, cuya función principal será retener sólidos de gran tamaño, materiales flotantes y elementos potencialmente perjudiciales para la operación de los equipos electromecánicos.

La incorporación de estas estructuras de protección hidráulica y mecánica tiene como objetivo minimizar el riesgo de obstrucciones, desgaste prematuro y daños en los impulsores de las bombas sumergibles instaladas en la EBAR, garantizando así una operación más segura, eficiente y continua del sistema de bombeo. Asimismo, las canastillas permitirán facilitar las labores de mantenimiento preventivo y limpieza periódica de la estación, reduciendo la probabilidad de fallas operativas asociadas a la acumulación de residuos sólidos en el pozo húmedo.

El sistema fue concebido para operar con dos equipos de bombeo sumergibles, por lo que las tuberías de entrada y sus respectivos dispositivos de retención de sólidos constituyen elementos fundamentales para asegurar condiciones hidráulicas adecuadas de ingreso al pozo húmedo y preservar la vida útil de los equipos instalados.

5.2. Red de alcantarillado cuatro usuarios aislados

Debido a la distancia de estos cuatro usuarios contabilizados en el marco de catastro de viviendas, por el equipo de topografía, En la Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24 se presenta los resultados de la modelación de las redes proyectadas del barrio del Rodeo.

Tabla 21. Resultados de área tributaria y número de viviendas de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo

Tramo (entre cámaras)		Longitud		Área tributaria			Número de viviendas	
				Viviendas				
Desde	Hasta	Eje a eje	Real	Area sector	Total	Total		
		m		m²	ha	m²	Propia	Total
G1	G2	24,45	23,25	89	0,009	89	2	8
CM24	CM44	112,11	110,61		0,02	248	2	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Resultados de pendientes, coeficiente de rugosidad y sección plena de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo

Tramo (entre cámaras)		Material	Diámetro			Pendiente tramo	Coef. De Rugosidad	Sección plena		
			Φ	Externo	Interno	Real				
Desde	Hasta					So		Q	V	T
		-	pulg	m	m	%	n	L/s	m/s	kg/ cm2
G1	G2	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM24	CM44	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Resultados de relaciones, valores reales y energía de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo

Tramo (entre cámaras)		Relaciones				Valores Reales			Energía	
									v2/2g	Total (H)
Desde	Hasta	q/Q	v/V	d/D	t/T	v	t	yn		
						m/s	kg/m²	m	m	m
G1	G2	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM24	CM44	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Resultados de cotas, alturas y chequeo de la modelación de extensión de redes de alcantarillado sanitario barrio El Rodeo

Tramo (entre cámaras)		Cota Rasante		Cotas de batea		Altura a clave		Chequeo			
Desde	Hasta	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	y/D	Fuerza Tractiva	Altura a clave I	Altura a clave F
		m	m	m	m	m	m				
G1	G2	960,17	960,25	958,77	958,66	1,20	1,39	OK	OK	OK	OK

Tramo (entre cámaras)		Cota Rasante		Cotas de batea		Altura a clave		Chequeo			
Desde	Hasta	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	y/D	Fuerza Tractiva	Altura a clave I	Altura a clave F
		m	m	m	m	m	m				
CM24	CM44	960,25	960,69	958,66	958,10	1,39	2,39	OK	OK	OK	OK

Fuente: Elaboración propia

6. Manejo de agua lluvia

La solución de saneamiento básico desarrollada en este documento contempla la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario destinado exclusivamente a la recolección y conducción de aguas residuales domésticas. Bajo ningún escenario este sistema deberá recibir aportes de aguas lluvias provenientes de cubiertas, patios, zonas duras, callejones o escorrentía superficial.

La incorporación de aguas lluvias al alcantarillado sanitario genera una serie de impactos negativos, entre ellos:

- ✓ Sobrecarga hidráulica de las tuberías.
- ✓ Incremento de la velocidad de llenado de los pozos de inspección.
- ✓ Reboses de aguas residuales durante eventos de lluvia.
- ✓ Disminución de la capacidad hidráulica disponible para transportar las aguas residuales.
- ✓ Incremento de los costos de operación y mantenimiento para el operador de red, y en consecuencia para los usuarios.
- ✓ Mayores costos de tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales, porque hay mayor volumen de agua siendo transportado hacia el sistema.
- ✓ Riesgo de deterioro prematuro de la infraestructura.

Por lo anterior, resulta indispensable implementar soluciones independientes para el manejo de las aguas lluvias. Los usuarios que tengan la posibilidad deberán descargar sus aguas lluvias sobre el zanjón cascajero u otro cercano, mientras que los usuarios que no tengan la posibilidad de descargar su agua lluvia sobre una fuente superficial

cercana deben recurrir a estrategias de infiltración, retención y laminación mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Las alternativas propuestas, a continuación, para el manejo de aguas lluvias buscan:

- ✓ Evitar que las aguas lluvias ingresen al sistema sanitario.
- ✓ Reducir los caudales de escorrentía superficial.
- ✓ Favorecer la infiltración natural del agua en el terreno.
- ✓ Disminuir los riesgos de inundación y empozamiento.
- ✓ Reducir el transporte de sedimentos.
- ✓ Favorecer la recarga del acuífero cuando las condiciones geotécnicas lo permitan.
- ✓ Incrementar la resiliencia hidráulica del sistema urbano.

La construcción del alcantarillado sanitario por sí sola no garantiza el adecuado funcionamiento del sistema si las aguas lluvias continúan descargándose hacia la infraestructura proyectada.

La experiencia en sistemas de saneamiento demuestra que uno de los principales factores que ocasionan el deterioro operacional corresponde a las conexiones erradas entre los sistemas pluvial y sanitario. Estas conexiones incrementan significativamente los caudales transportados durante los eventos de lluvia, ocasionando reboses, sobrepresiones, infiltraciones, incremento de sólidos transportados y reducción de la vida útil de las redes.

Por esta razón, la implementación de las medidas de manejo de aguas lluvias debe considerarse como un componente integral del proyecto y no como una obra complementaria opcional. Su materialización garantizará que el alcantarillado sanitario opere dentro de las condiciones hidráulicas para las cuales fue diseñado, asegurando niveles adecuados de servicio, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil de la infraestructura.

En consecuencia, se recomienda que todas las viviendas y espacios intervenidos conduzcan las aguas lluvias hacia soluciones SUDS

independientes, evitando cualquier conexión física con el sistema sanitario.

6.1. Alternativas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

6.1.1. Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración consisten en excavaciones longitudinales rellenas con material granular de alta permeabilidad que almacenan temporalmente el agua lluvia y permiten su infiltración gradual al terreno. Las zanjas son especialmente recomendables en callejones estrechos donde existe poco espacio disponible y no se cuenta con red de drenaje pluvial (ver Figura 6).

Ventajas

- ✓ Alta capacidad de almacenamiento.
- ✓ Fácil construcción.
- ✓ Bajo costo de mantenimiento.
- ✓ Reducción importante de caudales pico.
- ✓ Recarga del acuífero.

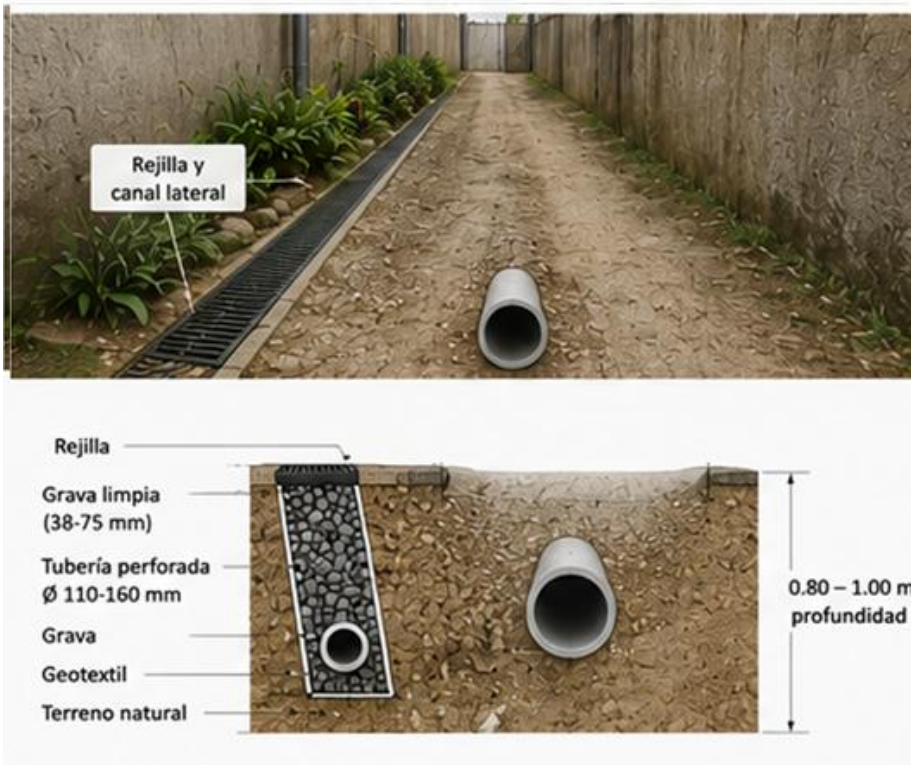


Figura 6. Zanjas de infiltración vereda El Guabal
Fuente: Creado a partir de IA

6.1.2. Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración son estructuras verticales que reciben el agua lluvia proveniente de canaletas o rejillas y permiten su infiltración profunda cuando no existe espacio longitudinal suficiente.

Aplicaciones. (i) Finales de callejones, (ii) Espacios reducidos, (iii) Descarga de cubiertas.

Condiciones. Su implementación requiere verificar previamente la permeabilidad del suelo y la profundidad del nivel freático (ver Figura 7).

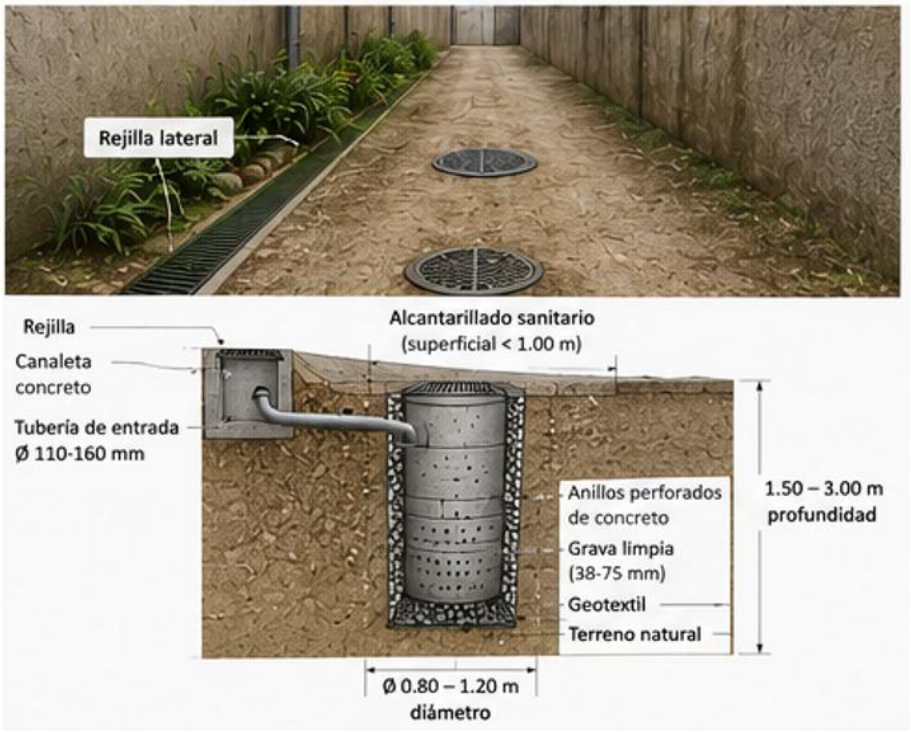


Figura 7. Pozos de infiltración vereda El Guabal
Fuente: Creado a partir de IA

Las rejillas deben ubicarse a un costado para no interferir con el alcantarillado, igualmente el pozo o los pozos de infiltración debe ubicarse en una zona donde no interfieran con el mismo.

6.1.3. Jardines de lluvia

Los jardines de lluvia son depresiones vegetadas diseñadas para almacenar temporalmente la escorrentía superficial y favorecer su infiltración mediante un sustrato filtrante (ver Figura 8).

Beneficios

- ✓ Mejoran el paisaje urbano.
- ✓ Filtran sedimentos y contaminantes.
- ✓ Favorecen la biodiversidad.
- ✓ Disminuyen los caudales de escorrentía.



Figura 8. Jardines de lluvia lateral vereda El Guabal
Fuente: Creado a partir de IA

6.1.4. Almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias

Cuando las condiciones del proyecto lo permitan, las aguas lluvias pueden almacenarse en tanques para usos no potables como:

- ✓ Lavado de pisos.
- ✓ Riego.
- ✓ Limpieza de zonas comunes.
- ✓ Mantenimiento de jardines.

El excedente podrá conducirse posteriormente hacia un sistema de infiltración (ver Figura 9).



Figura 9. Almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias vereda El Guabal
Fuente: Creado a partir de IA

6.2. Recomendaciones

Para garantizar el correcto funcionamiento de las soluciones SUDS deberán verificarse, como mínimo, los siguientes aspectos:

- ✓ Capacidad de infiltración del terreno mediante ensayos de campo.
- ✓ Nivel freático.
- ✓ Distancia mínima a cimentaciones y redes de servicios públicos.
- ✓ Área tributaria de drenaje.
- ✓ Intensidades de precipitación obtenidas de las curvas IDF de la zona.
- ✓ Incorporación de estructuras de pretratamiento para retener sedimentos y residuos sólidos.
- ✓ Programa periódico de mantenimiento preventivo.

Conclusiones y recomendaciones

- El sistema de alcantarillado diseñado a nivel de ingeniería de detalle corresponde a un alcantarillado sanitario de manera que no se debe verter otros aportes diferentes al agua residual sobre las redes proyectadas. El manejo de agua lluvia debe ser independiente y en ninguna circunstancia de debe conectar las tuberías para evacuación de agua lluvia, de techos, patios, vías u otros al alcantarillado sanitario.

- Para el caso de usuarios especiales, como el establecimiento destinado a la cría de porcinos (marranera), será necesario implementar un sistema de tratamiento previo para el caudal generado, antes de su descarga al sistema de alcantarillado sanitario. Lo anterior tiene como finalidad garantizar que las aguas residuales que sean recolectadas y transportadas hacia las redes de alcantarillado y, posteriormente, a la PTAR municipal de Jamundí, presenten características compatibles con las de un agua residual doméstica, de acuerdo con las condiciones y capacidad de tratamiento del sistema existente.

- La modelación hidráulica ratifica la viabilidad técnica del trazado propuesto; las cotas de batea, pendientes y diámetros seleccionados aseguran que la red opere bajo parámetros hidráulicos óptimos de velocidad, fuerza tractiva y llenado parcial.

- Las características de la EBAR, apoyadas en el dimensionamiento del pozo de succión y en las curvas de operación del sistema de impulsión vs. curva de las bombas, garantizan el manejo seguro del caudal máximo horario sin generar desgaste electromecánico prematuro por ciclos cortos, ni deterioro de la calidad del agua por tiempos de retención excesivos.

Anexos

No. Anexo	Nombre de anexo	Tipo de archivo	Contenido
1	DH ALC	Libro de excel	Modelación de las redes proyectadas
2	Diseño de EBAR	Libro de excel	Dimensionamiento del pozo húmedo Dimensionamiento de tuberías de impulsión
		Pdf	Curva de la bomba Dibujo equipo de bombeo Dimensiones de la bomba
3	Planos de diseño hidráulico	Dwg pdf	Planos de diseño hidráulico

Bibliografía

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Resolución 0799 de 2021: Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. Bogotá D.C., Colombia.