COMPONENTE III

DISEÑO DE EXTENSIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO

MEMORIA HIDRÁULICA

LOTE 1: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL CORREGIMIENTO DE

SAN ISIDRO

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.

CONSORCIO DISEÑOS JAMUNDÍ 2025
NIT 901994147-7

ALCALDÍA DE JAMUNDÍ
VALLE DEL CAUCA

MAYO DE 2026

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 5
1. POBLACIÓN BENEFICIADA 7
2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO 9
3. CAUDALES DE DISEÑO 11
4. METODOLOGÍA DE DISEÑO 15
4.1. Criterios de diseño para el alcantarillado 15
4.2. Criterios de diseño para la estación de bombeo 18
4.2.1. Número de unidades de bombeo 18
4.2.2. Tiempo de retención del agua en el pozo de bombeo 18
4.2.3. Dimensionamiento del pozo 19
4.2.4. Diámetro de la tubería de impulsión 19
4.2.5. Velocidad en la tubería de impulsión 20
4.2.6. Altura dinámica total 20
4.2.7. Potencia de la bomba 21
5. RESULTADOS DEL DISEÑO 22
5.1. Resultados de la modelación de las redes proyectadas 22
5.2. Resultados de la modelación de las redes existentes que reciben el caudal de los sectores beneficiarios de la extensión de redes 34
5.3. Resultados del dimensionamiento de la EBAR 38
ANEXOS 46
BIBLIOGRAFÍA 47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Población beneficiada 8
Tabla 2. Caudal medio diario de agua residual doméstica estimado por sector – San Isidro 11

Tabla 3. Caudal máximo diario de agua residual doméstica estimado por sector – San Isidro 12
Tabla 4. Caudal de conexiones erradas estimado por sector – San Isidro 13
Tabla 5. Caudal de infiltración estimado por sector 13
Tabla 6. Caudal de diseño estimado por sector 14
Tabla 7. Criterios y ecuaciones utilizados para determinación de la capacidad de redes de alcantarillado 15
Tabla 8. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario -Parte 1 de 5 24
Tabla 9. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario - Parte 2 de 5 26
Tabla 10. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario -Parte 3 de 5 28
Tabla 11. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario - Parte 4 de 5 30
Tabla 12. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario - Parte 5 de 5 31
Tabla 13. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 1 - Parte 1 de 3 35
Tabla 14. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 1 - Parte 2 de 3 36
Tabla 15. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 1 - Parte 3 de 3 36
Tabla 16. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 2 - Parte 1 de 2 36
Tabla 17. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 2 - Parte 2 de 2 37
Tabla 18. Dimensionamiento del pozo de bombeo 38
Tabla 19. Diámetro tubería impulsión 39
Tabla 20. Estimación de la frecuencia de bombeo EBAR 40

Tabla 21. Niveles de agua en el pozo de bombeo 41
Tabla 22. Coeficientes de resistencia K de accesorios en la tubería Impulsión de la EBAR.....42
Tabla 23. Cabeza dinámica total 42
Tabla 24. Datos para la curva del sistema de tuberías 42
Tabla 25. Especificaciones técnicas bomba seleccionada 43
Tabla 26. Potencia requerida por las bombas.....44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área objeto del alcance de los sectores San Diego y Villa Delfa en el corregimiento de San Isidro.....7
Figura 2. Planta general de la extensión de redes de alcantarillado de los sectores de San Diego y Villa Delfa 9
Figura 3. Esquema de volúmenes y nivel de arranque de la bomba en el pozo de succión.....40
Figura 4. Curva de la bomba - Datos del fabricante de la bomba 43
Figura 5. Curva del sistema de tuberías vs curva de la bomba – EBAR natas 44

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".

Este documento presenta de manera integral el diseño hidráulico correspondiente al **Componente III** del **Lote 1**, cuyo alcance abarca específicamente a las zonas priorizadas de Villa Delfa y San Diego en el corregimiento de **San Isidro**.

Basado en el concepto de viabilidad técnica emitido por Terranova Servicios S.A. E.S.P. para el servicio de alcantarillado en San Diego y Villa Delfa, se desarrolló el diseño hidráulico de la extensión de redes sanitarias, con descarga a la infraestructura existente en Ciudad Terranova. El nodo de conexión viable se ubica en calle 20 (sector cancha), donde la red presenta tuberías de $D > 10''$ y profundidades $h \approx 2{,}0$ m, conforme a planos AS BUILT y verificado por levantamiento topográfico de esta consultoría.

La configuración de la extensión de redes comprende:

- Interceptor 1 (San Diego): Recolección y conducción de aguas residuales (AR) de viviendas en callejón Agroandes y vereda San Diego.
- Interceptor 2 (Villa Delfa): Captación e integración de AR de Urbanización Villa Delfa, Los Olmos, Los Olmos Villota y Los Lasso; alineado paralelo al zanjón receptor de vertimientos actuales.
- Colector secundario (Callejón Agroandes – El Guabal): Recolección de AR en tramo de 353 m, con descarga a EBAR existente El Rodeo (operada por Terranova Servicios S.A. E.S.P.).
- EBAR proyectada: Impulsión de AR de Interceptor 1 y 2 hacia red existente en calle 20; QMH = 4,22 L/s.
- Línea de impulsión: Transporte de caudal consolidado a red Ciudad Terranova (calle 20, sector cancha); L= 150 metros.

Los parámetros de la modelación hidráulica se rigen por el RAS 2017 (Res. 0330) y el RAS 2021 (Res. 0799). La extensión de redes representa una longitud total de 2.205 m (tuberías PVC 8" principales; 6" en callejones del sector Villa Delfa).

El sistema de bombeo proyectado contempla la instalación de dos bombas sumergibles de operación alterna, diseñadas para un caudal unitario de 4,2 L/s y una altura dinámica total de 12,62 mca. La EBAR contará con dos tuberías de entrada de 8 pulgadas de diámetro, cada una equipada con canastillas de cribado grueso de limpieza manual para la retención de sólidos y materiales flotantes, con el fin de proteger los equipos electromecánicos y garantizar condiciones adecuadas de operación y mantenimiento del sistema.

1. POBLACIÓN BENEFICIADA

El proyecto contempla dentro de su área de influencia a la población ubicada específicamente en los sectores de San Diego y Villa Delfa, pertenecientes al corregimiento de San Isidro. Este corregimiento se localiza en la zona plana del municipio de Jamundí, a una distancia aproximada de 3,5 kilómetros de la cabecera municipal. Sus límites corresponden, al norte, con el municipio de Cali; al suroeste, con el corregimiento de Paso de la Bolsa; y al oriente, con el corregimiento de Bocas del Palo.

En la Figura 1 se presenta la localización de las áreas objeto del alcance dentro del límite del corregimiento de San Isidro.



Figura 1. Localización del área objeto del alcance de los sectores San Diego y Villa Delfa en el corregimiento de San Isidro
Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth

En la Tabla 1 se presenta la información consolidada del número de viviendas que suma un total de 250 viviendas por los dos sectores. Adicionalmente se presenta el área de expansión disponible dentro de los planes parciales vigentes establecidos.

Tabla 1. Población beneficiada

Sector	Zona	Número de viviendas	Cuenta con área de expansión		Área de expansión oficial disponible	Número máximo de suscriptores nuevos
			Sí	No	m^2	Suscriptores
Villa Delfa	Urbanización Villa Delfa	54		X	NA	0
	Los Olmos	18				
	Los Olmos Villota	9				
	Los Lasso	26				
	Total sector	107				
San Diego	Callejón Agroandes	23		X	NA	0
	Vd. San Diego	81		X	NA	0
	Subtotal	104	-	-	-	-
	Callejón hacia el Guabal	39	X		4.272*	57**
TOTAL		250	-	-	-	57

NOTAS

NA: no aplica
*El área disponible para expansión corresponde al área sin urbanizar, que podría conectarse a los colectores proyectados del sector San Diego. Esta área hace parte del área indicada en el plan parcial San Isidro I - Terranova (Respuesta Planeación Municipal bajo Radicado No. 2025-S-32058, Anexo 1A).
**Se tiene en cuenta el área mínima de lote para una vivienda y la altura máxima de la edificación (2 pisos y altillo) que establece Planeación tomado de Respuesta de Planeación Municipal bajo Radicado No. 2025-S-32058 - Artículo 278 de PBOT vigente (ver Anexo 1A).

Fuente: Elaboración propia

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO

Con base en el concepto de viabilidad emitido por Terranova Servicios S.A. E.S.P. para la prestación del servicio de alcantarillado en los sectores de San Diego y Villa Delfa, se efectuó el análisis de alternativas para la extensión de redes sanitarias, contemplando su descarga hacia la infraestructura de alcantarillado existente en Ciudad Terranova.
El punto de conexión técnicamente viable se localiza sobre la calle 20, en el sector de la cancha, donde la red existente dispone de tuberías con diámetros superiores a 10 pulgadas y profundidades aproximadas de 2,0 metros, de acuerdo con la información contenida en los planos AS BUILT suministrados por Terranova Servicios S.A. E.S.P. (ver Anexos del Componente II) y verificado por el equipo de topografía que desarrolló el levantamiento y catastro de las redes de interés en el marco de esta consultoría.

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.

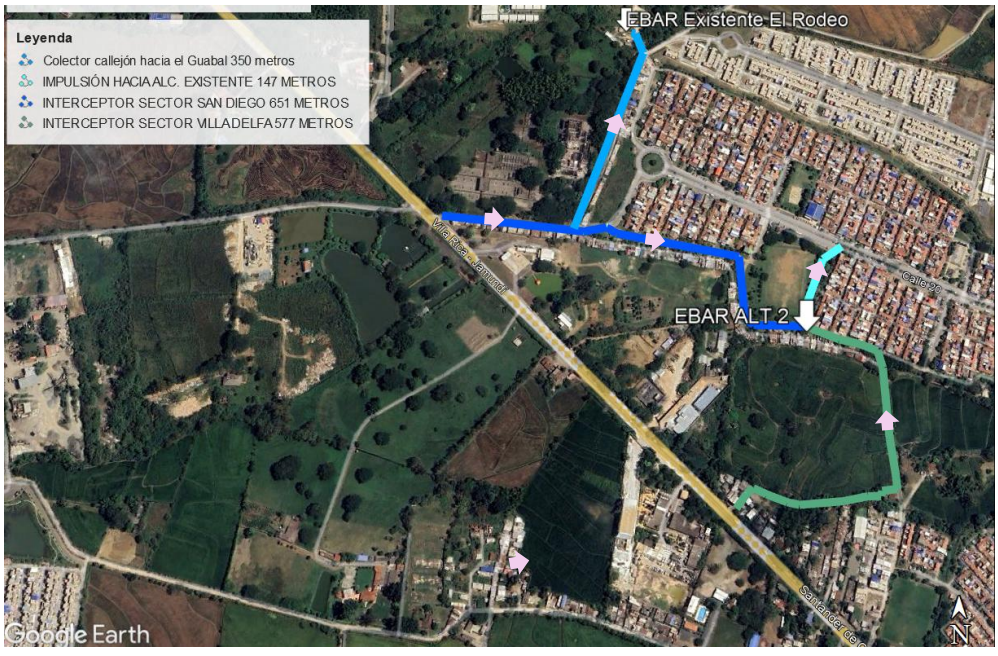


Figura 2. Planta general de la extensión de redes de alcantarillado de los sectores de San Diego y Villa Delfa
Fuente: Elaboración propia a partir de Google EARTH

La propuesta de extensión de redes de alcantarillado sanitario contempla la implementación de dos interceptores principales, un colector secundario, una estación de bombeo de agua residual y una línea de impulsión, descritos a continuación:

- ✓ **Interceptor 1** – Sector San Diego: Corresponde al interceptor encargado de la recolección y conducción de las aguas residuales generadas por una parte de las viviendas localizadas sobre el callejón Agroandes y en la vereda San Diego.
- ✓ **Interceptor 2** – Sector Villa Delfa: Tiene como función captar e integrar las aguas residuales provenientes de las viviendas ubicadas en los sectores de la Urbanización Villa Delfa, Los Olmos, Los Olmos Villota y Los Lasso. Este interceptor se proyecta de manera paralela al zanjón existente en el sector de Villa Delfa, el cual actualmente recibe los vertimientos individuales y colectivos generados en la zona.
- ✓ **Colector Callejón Agroandes** – El Guabal: Corresponde al colector secundario destinado a recolectar las aguas residuales generadas por las viviendas ubicadas en un tramo aproximado de 350 metros del callejón Agroandes con salida hacia El Guabal. El sistema proyectado conducirá el caudal hacia la estación de bombeo de aguas residuales existente en El Rodeo, infraestructura actualmente operada por Terranova Servicios S.A. E.S.P.
- ✓ **Estación de bombeo de agua residual** -EBAR. Se proyectó una EBAR para conducir, el agua residual recolectada y transportada por los interceptores 1 y 2, hacia la red existente del alcantarillado de Terranova Servicios ubicada sobre la calle 20.
- ✓ **Línea de impulsión:** Infraestructura proyectada para transportar el caudal consolidado proveniente de los dos interceptores principales hasta la red de alcantarillado existente de Ciudad Terranova, localizada sobre la calle 20, en el sector de la cancha de fútbol.

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 por sector, con un valor de 1,10 L/s para el sector San Diego (de los cuales 0,53 L/s corresponden al callejón hacia El Guabal) y de 0,59 L/s para el sector Villa Delfa.

Tabla 2. Caudal medio diario de agua residual doméstica estimado por sector – San Isidro

SECTOR	Zona	Dotación (L/Hab /Día)	**Caudal medio**		**Q medio de AR**	
			L/s	m^3/d	L/s	m^3/d
SAN DIEGO	CALLEJÓN AGROANDES	140	0,15	12,9	0,13	11
	VD SAN DIEGO		0,53	45,4	0,45	39
	SUBTOTAL		0,67	58,2	0,57	50
	CALLEJÓN HACIA EL GUABAL	140	0,62	53,8	0,53	46
	SUBTOTAL SECTOR	140	1,30	112	1,10	95
VILLA DELFA	URB. VILLA DELFA	140	0,35	30,2	0,30	26
	LOS OLMOS	140	0,12	10,1	0,10	9
	LOS OLMOS VILLOTA	140	0,06	5,0	0,05	4
	LOS LASSO	140	0,17	14,6	0,14	12
	SUBTOTAL SECTOR		0,69	59,9	0,59	51
TOTAL					1,74	150,42

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 por sector – San Isidro

SECTOR	ZONA	Q medio de AR		Factor de mayoración	Q máximo horario de AR	
		Lps	m^3/d	Adimensional	Lps	m^3/d
SAN DIEGO	CALLEJÓN AGROANDES (CA)	0,1	10,9	2,6	0,3	28,6
	VD SAN DIEGO (SD)	0,4	38,6	2,4	1,1	93,2
	SUBTOTAL (CA+SD)	0,6	49,5	-	1,4	121,8
	CALLEJÓN HACIA EL GUABAL	0,5	45,7	2,4	1,3	109,3
VILLA DELFA	URB. VILLA DELFA	0,3	25,7	2,5	0,7	63,7
	LOS OLMOS	0,1	8,6	2,7	0,3	22,7
	LOS OLMOS VILLOTA	0,0	4,3	2,8	0,1	11,9
	LOS LASSO	0,1	12,4	2,6	0,4	32,1
	SUBTOTAL	0,6	50,9	-	1,5	130,5

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 por sector – San Isidro

SECTOR	ZONA	ÁREA (m^2)	CAUDAL DE CONEXIONES ERRADAS	
			L/s	m^3/d
SAN DIEGO	CALLEJÓN AGROANDES	5.229	0,10	9
	VD SAN DIEGO	10.477	0,21	18
		SUBTOTAL	0,31	27,14
	CALLEJÓN HACIA EL GUABAL	6.126	0,12	11
VILLA DELFA	URB. VILLA DELFA	10.757	0,22	19
	LOS OLMOS	5.083	0,10	9
	LOS OLMOS VILLOTA	4.473	0,09	8
	LOS LASSO	7.312	0,15	13
		SUBTOTAL	0,55	48
TOTAL			0,87	74,88
FACTOR DE CONEXIONES ERRADAS 0,2 L/s.ha				

Fuente: Elaboración propia

Caudal de infiltración. Los aportes por conexiones erradas se estimaron 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 por sector

SECTOR	ZONA	ÁREA (m^2)	CAUDAL DE INFILTRACIÓN	
			Lps	m^3/d
SAN DIEGO	CALLEJÓN AGROANDES	5.229	0,05	4,5
	VD SAN DIEGO	10.477	0,10	9,1
		SUBTOTAL	0,16	13,57
	CALLEJÓN HACIA EL GUABAL	6.126	0,06	5,3
VILLA DELFA	URB. VILLA DELFA	10.757	0,11	9,3
	LOS OLMOS	5.083	0,05	4,4
	LOS OLMOS VILLOTA	4.473	0,04	3,9
	LOS LASSO	7.312	0,07	6,3
		SUBTOTAL	0,28	23,87
FACTOR DE INFILTRACIÓN 0,1 L/s.ha				

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 6. Caudal de diseño estimado por sector

SECTOR	ZONA	QMH	Q conexiones erradas	Q infiltración	CAUDAL DE DISEÑO	
			L/s		L/s	m³/d
SAN DIEGO	CA	0,33	0,10	0,05	0,49	42,17
	SD	1,08	0,21	0,10	1,39	120,38
	CA+SD	1,41	0,31	0,16	**1,88**	**162,56**
	CG	1,27	0,12	0,06	**1,45**	**125,21**
VILLA DELFA	VD	0,74	0,22	0,11	1,06	91,62
	LO	0,26	0,10	0,05	0,42	35,92
	LOD	0,14	0,09	0,04	0,27	23,46
	LL	0,37	0,15	0,07	0,59	51,06
	SUBTOTAL	0,77	0,34	0,17	**2,34**	**110,44**
TOTAL (AGROANDES, SAN DIEGO, VILLA DELFA)					**4,22**	**273,00**

CA: CALLEJÓN AGROANDES, CG: CALLEJÓN HACIA EL GUABAL, SD: VD. SAN DIEGO, VD: VILLA DELFA, LO: LOS OLMOS, LOV: LOS OLMOS VILLOTA, LL: LOS LASSO

Fuente: Elaboración propia

El QMH que deberá ser atendido por la estación de bombeo proyectada corresponde a 4,22 L/s. Por otro lado, un caudal máximo horario estimado de 1,45 L/s será conducido hacia la EBAR existente de El Rodeo.

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.	$$K = \frac{2,3}{(Q_{medio})0,062}$$

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
		Donde, K: Factor de mayoración (adm) Qmed: Caudal medio diario de agua residual (LPS) Fuente: Normas EMCALI
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

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
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) 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	$Hi = CR - CC$

Parámetro	Unidad	Valor / Ecuación
		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) 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 3).

$$V_P = Q_B \times T_R \qquad \text{Ecuación 3}$$

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 4).

$$D = K \times Q^{0,50} \qquad \text{Ecuación 4}$$

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 5:

$$H_D = H_E + H_f \qquad \text{Ecuación 5}$$

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 6:

$$H_E = H_{succión} + H_{descarga} \qquad \text{Ecuación 6}$$

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:

$$H_E = (C_{des} - N) \qquad \text{Ecuación 7}$$

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 8) y de Darcy Weisback (Ecuación 9) para tuberías y accesorios respectivamente.

$$H_f = 10.675 \frac{Q^{1.852} L}{C^{1.852} D^{4.87}}$$ Ecuación 8

$$H_{acc} = K \times \frac{v^2}{2g} = K \frac{Q^2}{2gA^2}$$ Ecuación 9

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 10.

$$P = \frac{Q\gamma H}{75\eta}$$ Ecuación 10

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. Trazado de las redes de alcantarillado sanitario

El trazado de los sectores contemplados se proyectó hacia la infraestructura existente de Terranova Servicios S.A. E.S.P. El punto de conexión técnicamente viable se localiza en la calle 20, sector de la cancha de San Diego, donde la red existente cuenta con tuberías de 10 pulgadas y profundidades de 2 m, de acuerdo con los planos *AS BUILT* y la verificación realizada mediante el levantamiento topográfico efectuado por esta consultoría.

La configuración de la extensión de redes comprende:

- Interceptor 1 (San Diego): Recolección y conducción de aguas residuales (AR) de viviendas en callejón Agroandes y vereda San Diego.
- Interceptor 2 (Villa Delfa): Captación e integración de AR de Urbanización Villa Delfa, Los Olmos, Los Olmos Villota y Los Lasso; alineado paralelo al zanjón receptor de vertimientos actuales. Desde la consultoría se planteó inicialmente un trazado que, en el sector de Los Olmos, se desarrollaba de manera paralela al zanjón en todo su recorrido (ver Figura 2). Sin embargo, atendiendo al requerimiento de la Supervisión y de la Secretaría de Vivienda (ver Anexo 6), se realizó un ajuste al trazado, conforme a lo indicado en dicho anexo.
- Colector secundario (Callejón Agroandes – El Guabal): Recolección de AR en tramo de 353 m, con descarga a EBAR existente El Rodeo (operada por Terranova Servicios S.A. E.S.P.).
- EBAR proyectada: Impulsión de AR de Interceptor 1 y 2 hacia red existente en calle 20; QMH = 4,22 L/s.
- Línea de impulsión: Transporte de caudal consolidado a red Ciudad Terranova (calle 20, sector cancha); L= 150 metros.

5.2. Resultados de la modelación de las redes proyectadas

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. El sistema modelado está conformado por una red de colectores secundarios y principales, cámaras de inspección, cajas domiciliarias y estructuras de descarga hacia una Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) proyectada y una EBAR existente.

La EBAR existente de El Rodeo fue considerada para recibir el caudal sanitario correspondiente a 39 viviendas actualmente consolidadas dentro del área de influencia del proyecto. No obstante, para efectos de la modelación y dimensionamiento hidráulico del colector tributario, se adoptó un escenario de proyección que contempla la incorporación potencial de hasta 57 viviendas adicionales, asociadas a la zona de expansión urbana definida en el Plan Parcial San Isidro I – Terranova, de acuerdo con la información suministrada por la Oficina de Planeación Municipal.
Por otra parte, las restantes 211 viviendas identificadas durante el levantamiento y verificación en campo fueron asignadas al sistema de recolección que descarga hacia la EBAR proyectada, garantizando así la distribución operativa de los caudales generados y la adecuada capacidad hidráulica de cada uno de los sistemas contemplados dentro del proyecto.

La modelación hidráulica se desarrolló considerando las características geométricas y topográficas de cada tramo de la red, así como las áreas tributarias, el número de viviendas servidas, los caudales domésticos generados, los aportes por infiltración y las posibles conexiones erradas.

Para el análisis hidráulico se utilizaron criterios de diseño aplicables a sistemas de alcantarillado sanitario en flujo parcialmente lleno, verificando la capacidad de conducción de las tuberías, las velocidades de circulación, las relaciones de llenado, las pendientes hidráulicas y las condiciones de autolimpieza.

El sistema proyectado contempla tubería plástica PVC con diámetros de 6" y 8", empleando un coeficiente de rugosidad de Manning de $n = 0{,}010$, correspondiente a materiales de superficie lisa.

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, así como su capacidad para atender futuras expansiones poblacionales dentro del área de influencia.

Tabla 8. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario -Parte 1 de 5

Tramo (entre cámaras)				Longitud		Área tributaria			Número de viviendas	
Tramo		Desde	Hasta	Eje a eje	Real	Área sector	Total	Total		
No.	Tipo			m		m²	ha	m²	Propia	Total
1	1	Caja 1	Caja 2	11,76	11,16	3.114	0,04	359,3	3	3
2	2	Caja 2	Caja 3	15,47	15,17		0,08	838,4	4	7
3	1	Caja 3	Caja 4	21,09	20,79		0,12	1197,7	3	10
4	2	CM1A	Caja 4	20,03	19,13		0,04	359,3	3	3
5	1	Caja 4	CM 1	3,40	2,50		0,17	1676,8	1	14
6	2	CM 1	CM 2	15,63	14,43		0,20	2036,1	3	17
7	2	CM 2	CM 3	17,88	16,68		0,25	2515,2	4	21
8	1	Caja 5	CM 3A	17,71	16,81		0,05	479,1	4	4
9	2	CM 3A	CM 3	10,80	9,90		0,06	598,8	1	5
10	1	CM 3	CM 3B	21,78	21,18		0,31	3114,0		26
11	2	CM 3B	CM 3C	24,64	24,04		0,31	3114,0		26
12	2	CM 3C	CM 4	43,30	42,40		0,31	3114,0		26

Tramo (entre cámaras)				Longitud		Área tributaria			Número de viviendas	
Tramo		Desde	Hasta	Eje a eje	Real	Área sector	Total	Total		
No.	Tipo			m		m²	ha	m²	Propia	Total
13	1	CM 4A	CM 4B	50,24	49,04		0,13	1.316	9	9
14	2	CM 4B	CM 4	38,12	37,22	1.316	0,13	1.316		9
15	2	CM 4	CM 5	34,42	33,22		0,44	4.430		35
16	2	CM 5	CM 6	14,10	12,90		0,44	4.430		35
17	1									
18	2	CM 7A	CM 7B	22,83	22,23		0,08	847	3	3
19	2	CM 7B	CM 7	9,41	8,51		0,14	1.412	2	5
20	2	CM 7	CM 8	56,90	55,70	5.083	0,42	4.236	10	15
21	2	CM 8	CM 6	50,97	49,77		0,51	5.083	3	18
22	2	CM 6	CM 9	40,85	39,65		0,95	9.513		53
23	2	CM 9	CM 13	7,99	6,79		0,95	9.513		53
24	1	Caja 6	Caja 7	25,04	24,44		0,06	598	3	3
25	2	Caja 7	CM 10	26,90	26,00		0,12	1.195	3	6
26	2	CM 10	CM 11	6,68	5,48		0,12	1.195		6
27	2	CM 11	CM 12	99,22	98,02		0,68	6.773	28	34
28	2	CM 12	CM 13	19,05	17,85		0,70	6.972	1	35
29	2	CM 13	CM 14 (paso canal)	14,69	13,49	10.757	1,65	16.485		88
30	2	CM 14	CM 15	21,97	20,77		1,65	16.485		88
31	1	CM 16	CM 17	120,00	118,80		0,26	2.590	13	13
32	2	CM 17	CM 18	53,19	51,99		0,38	3.785	6	19
33	2	CM 18	CM 15	16,57	15,37		0,38	3.785		19
34	2	CM 15	CM 19	20,24	19,04		2,03	20.270		107
35	2	CM 19	CM 19 A	9,43	8,23		2,29	22.860		120
36	2	CM 19 A	CM 20	69,96	68,76		2,03	20.270		107
37	2	CM 20	CM 21	39,99	38,79		2,03	20.270		107
38	2	CM 21	CM 22	44,83	43,63		2,03	20.270		107
39	2	CM 22	CM 23	17,66	16,46		2,03	20.270		107
40	2	CM 23	CM 24 (Paso canal)	13,18	11,98		2,03	20.270		107
41	2	CM 24	CM 25	6,37	5,17		2,03	20.270		107
42	2	CM 25	CM 26	46,71	45,51		0,03	302	2	109
43	2	CM 26	CM 27	22,09	20,89		0,06	604	2	111
44	2	CM 27	EBAR proyectada	57,55	56,65		0,21	2.114	10	121
45	1	CM 28	CM 29	120,00	118,80	15.706	0,23	2.265	15	15
46	2	CM 29	CM 30	33,31	32,11		0,33	3.322	7	22
47	2	CM 30	CM 31	20,46	19,26		0,36	3.624	2	24
48	2	CM 31	CM 32	56,32	55,12		0,50	4.984	9	33
49	2	CM 32	CM 33	69,71	68,51		0,65	6.494	10	43
50	2	CM 33	CM 34	85,63	84,43		0,85	8.457	13	56

Tramo (entre cámaras)				Longitud		Área tributaria			Número de viviendas	
Tramo		Desde	Hasta	Eje a eje	Real	Área sector	Total	Total		
No.	Tipo			m		m²	ha	m²	Propia	Total
51	2	CM 34	CM 35	36,85	35,65		0,92	9.212	5	61
52	2	CM 35	CM 36	9,39	8,19		0,92	9.212		61
53	2	CM 36	CM 37	83,32	82,12		1,03	10.269	7	68
54	2	CM 37	CM 38	20,77	19,57		1,12	11.175	6	74
55	2	CM 38	CM 39	54,19	52,99		1,25	12.535	9	83
56	2	CM 39	EBAR proyectada	28,30	27,40		1,36	13.592	7	90
57	1	CM 31	CM 40	97,33	96,13		0,71	7.098	47	47
58	2	CM 40	CM 41	49,94	48,74		1,13	11.326	28	75
59	2	CM 41	CM 42	119,91	118,71		1,34	13.441	14	89
60	2	CM 42	CM 43	25,03	23,83		1,42	14.196	5	94
61	2	CM 43	CM 44	15,92	14,72	10.398	1,45	14.498	2	96
62	2	CM 44	CM 45	29,05	27,85		1,45	14.498		96
63	2	CM 45	EBAR existente	15,92	14,72		1,45	14.498		96

Tabla 9. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario - Parte 2 de 5

Tramo (entre cámaras)		CAUDAL							
		Q med.	Factor máx	QMH	Q Con. Errad	Q infiltración		Q	Q PARA CHEQUEO
Desde	Hasta	Total				Tramo		TOTAL	
		L/s	Adim.	L/s	L/s	m³/d	L/s	L/s	L/s
Caja 1	Caja 2	0,02	3,80	0,06	0,01		0,004	0,07	1,50
Caja 2	Caja 3	0,04	3,80	0,15	0,02		0,008	0,17	1,50
Caja 3	Caja 4	0,06	3,73	0,21	0,02		0,012	0,24	1,50
CM1A	Caja 4	0,02	3,80	0,06	0,01		0,004	0,07	1,50
Caja 4	CM 1	0,08	3,65	0,28	0,03		0,017	0,33	1,50
CM 1	CM 2	0,09	3,61	0,34	0,04		0,020	0,40	1,50
CM 2	CM 3	0,12	3,56	0,41	0,05		0,025	0,49	1,50
Caja 5	CM 3A	0,02	3,80	0,08	0,01		0,005	0,10	1,50
CM 3A	CM 3	0,03	3,80	0,10	0,01		0,006	0,12	1,50
CM 3	CM 3B	0,14	3,51	0,50	0,06		0,031	0,60	1,50
CM 3B	CM 3C	0,14	3,51	0,50	0,06		0,031	0,60	1,50
CM 3C	CM 4	0,14	3,51	0,50	0,06		0,031	0,60	1,50
CM 4A	CM 4B	0,05	3,75	0,19	0,03		0,013	0,23	1,50
CM 4B	CM 4	0,05	3,75	0,19	0,03		0,013	0,23	1,50
CM 4	CM 5	0,19	3,45	0,67	0,09		0,044	0,80	1,50
CM 5	CM 6	0,19	3,45	0,67	0,09		0,044	0,80	1,50

Tramo (entre cámaras)		CAUDAL							
		Q med.	Factor máx	QMH	Q Con. Errad	Q infiltración		Q	Q PARA CHEQUEO
Desde	Hasta	Total				Tramo		TOTAL	
		L/s	Adim.	L/s	L/s	m³/d	L/s	L/s	L/s
CM 7A	CM 7B	0,02	3,80	0,06	0,02		0,008	0,09	1,50
CM 7B	CM 7	0,03	3,80	0,10	0,03		0,014	0,15	1,50
CM 7	CM 8	0,08	3,63	0,30	0,08		0,042	0,43	1,50
CM 8	CM 6	0,10	3,59	0,36	0,10		0,051	0,51	1,50
CM 6	CM 9	0,29	3,36	0,98	0,19		0,095	1,27	1,50
CM 9	CM 13	0,29	3,36	0,98	0,19		0,095	1,27	1,50
Caja 6	Caja 7	0,02	3,80	0,06	0,01		0,006	0,08	1,50
Caja 7	CM 10	0,03	3,80	0,13	0,02		0,012	0,16	1,50
CM 10	CM 11	0,03	3,80	0,13	0,02		0,012	0,16	1,50
CM 11	CM 12	0,19	3,45	0,65	0,14		0,068	0,85	1,50
CM 12	CM 13	0,19	3,45	0,67	0,14		0,070	0,87	1,50
CM 13	CM 14 (paso canal)	0,49	3,26	1,58	0,33		0,165	2,07	2,07
CM 14	CM 15	0,49	3,26	1,58	0,33		0,165	2,07	2,07
CM 16	CM 17	0,07	3,67	0,26	0,05		0,026	0,34	1,50
CM 17	CM 18	0,10	3,58	0,38	0,08		0,038	0,49	1,50
CM 18	CM 15	0,10	3,58	0,38	0,08		0,038	0,49	1,50
CM 15	CM 19	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 19	CM 19 A	0,66	3,19	2,11	0,46		0,229	2,80	2,80
CM 19 A	CM 20	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 20	CM 21	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 21	CM 22	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 22	CM 23	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 23	CM 24 (Paso canal)	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 24	CM 25	0,59	3,22	1,90	0,41		0,203	2,51	2,51
CM 25	CM 26	0,60	3,21	1,93	0,01		0,003	1,94	1,94
CM 26	CM 27	0,61	3,21	1,96	0,01		0,006	1,98	1,98
CM 27	EBAR proyectada	0,67	3,19	2,13	0,04		0,021	2,19	2,19
CM 28	CM 29	0,08	3,63	0,30	0,05		0,023	0,37	1,50
CM 29	CM 30	0,12	3,55	0,43	0,07		0,033	0,53	1,50
CM 30	CM 31	0,13	3,53	0,47	0,07		0,036	0,58	1,50
CM 31	CM 32	0,18	3,46	0,63	0,10		0,050	0,78	1,50
CM 32	CM 33	0,24	3,40	0,81	0,13		0,065	1,00	1,50
CM 33	CM 34	0,31	3,35	1,03	0,17		0,085	1,29	1,50
CM 34	CM 35	0,34	3,33	1,12	0,18		0,092	1,40	1,50
CM 35	CM 36	0,34	3,33	1,12	0,18		0,092	1,40	1,50
CM 36	CM 37	0,37	3,31	1,24	0,21		0,103	1,55	1,55
CM 37	CM 38	0,41	3,29	1,34	0,22		0,112	1,68	1,68
CM 38	CM 39	0,46	3,27	1,50	0,25		0,125	1,87	1,87

Tramo (entre cámaras)		CAUDAL							
		Q med.	Factor máx	QMH	Q Con. Errad	Q infiltración		Q	Q PARA CHEQUEO
Desde	Hasta	Total				Tramo		TOTAL	
		L/s	Adim.	L/s	L/s	m³/d	L/s	L/s	L/s
CM 39	EBAR proyectada	0,50	3,25	1,61	0,27		0,136	2,02	2,02
CM 31	CM 40	0,26	3,39	0,88	0,14		0,071	1,09	1,50
CM 40	CM 41	0,41	3,29	1,36	0,23		0,113	1,70	1,70
CM 41	CM 42	0,49	3,25	1,60	0,27		0,134	2,00	2,00
CM 42	CM 43	0,52	3,24	1,68	0,28		0,142	2,11	2,11
CM 43	CM 44	0,53	3,24	1,72	0,29		0,145	2,15	2,15
CM 44	CM 45	0,53	3,24	1,72	0,29		0,145	2,15	2,15
CM 45	EBAR existente	0,53	3,24	1,72	0,29		0,145	2,15	2,15

Tabla 10. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario -Parte 3 de 5

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
Caja 1	Caja 2	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
Caja 2	Caja 3	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
Caja 3	Caja 4	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM1A	Caja 4	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
Caja 4	CM 1	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 1	CM 2	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 2	CM 3	PVC	6	0,16	0,15	0,49	0,01	12,66	0,77	0,18
Caja 5	CM 3A	PVC	6	0,16	0,15	2,38	0,01	27,90	1,69	0,86
CM 3A	CM 3	PVC	6	0,16	0,15	0,50	0,01	12,85	0,78	0,18
CM 3	CM 3B	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 3B	CM 3C	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 3C	CM 4	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 4A	CM 4B	PVC	6	0,16	0,15	0,71	0,01	15,24	0,92	0,26
CM 4B	CM 4	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 4	CM 5	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 5	CM 6	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 7A	CM 7B	PVC	6	0,16	0,15	1,12	0,01	19,18	1,16	0,41
CM 7B	CM 7	PVC	6	0,16	0,15	1,53	0,01	22,35	1,35	0,55
CM 7	CM 8	PVC	6	0,16	0,15	0,48	0,01	12,59	0,76	0,18
CM 8	CM 6	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 6	CM 9	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 9	CM 13	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
Caja 6	Caja 7	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16

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
Caja 7	CM 10	PVC	6	0,16	0,15	2,23	0,01	27,01	1,64	0,81
CM 10	CM 11	PVC	6	0,16	0,15	0,70	0,01	15,13	0,92	0,25
CM 11	CM 12	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 12	CM 13	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 13	CM 14 (paso canal)	PVC	8	0,20	0,18	1,00	0,01	33,16	1,27	0,46
CM 14	CM 15	PVC	8	0,20	0,18	1,00	0,01	33,16	1,27	0,46
CM 16	CM 17	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 17	CM 18	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 18	CM 15	PVC	6	0,16	0,15	0,45	0,01	12,13	0,73	0,16
CM 15	CM 19	PVC	8	0,20	0,18	0,36	0,01	19,89	0,76	0,16
CM 19	CM 19 A	PVC	8	0,20	0,18	0,34	0,01	19,33	0,74	0,15
CM 19 A	CM 20	PVC	8	0,20	0,18	0,37	0,01	20,17	0,78	0,17
CM 20	CM 21	PVC	8	0,20	0,18	0,37	0,01	20,17	0,78	0,17
CM 21	CM 22	PVC	8	0,20	0,18	0,37	0,01	20,17	0,78	0,17
CM 22	CM 23	PVC	8	0,20	0,18	0,33	0,01	19,19	0,74	0,15
CM 23	CM 24 (Paso canal)	PVC	8	0,20	0,18	1,00	0,01	33,16	1,27	0,45
CM 24	CM 25	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 25	CM 26	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 26	CM 27	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 27	EBAR proyectada	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 28	CM 29	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 29	CM 30	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 30	CM 31	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 31	CM 32	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 32	CM 33	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 33	CM 34	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 34	CM 35	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 35	CM 36	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 36	CM 37	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 37	CM 38	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 38	CM 39	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 39	EBAR proyectada	PVC	8	0,20	0,18	0,51	0,01	23,56	0,91	0,23
CM 31	CM 40	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 40	CM 41	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 41	CM 42	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 42	CM 43	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 43	CM 44	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,45	0,90	0,23
CM 44	CM 45	PVC	8	0,20	0,18	0,50	0,01	23,51	0,90	0,23

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
CM 45	EBAR existente	PVC	8	0,20	0,18	0,54	0,01	24,45	0,94	0,25

Tabla 11. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario - Parte 4 de 5

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
Caja 1	Caja 2	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
Caja 2	Caja 3	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
Caja 3	Caja 4	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM1A	Caja 4	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
Caja 4	CM 1	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 1	CM 2	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 2	CM 3	0,118	0,55	0,253	0,592	0,42	0,11	0,04	0,01	0,05
Caja 5	CM 3A	0,054	0,45	0,169	0,415	0,75	0,36	0,02	0,03	0,05
CM 3A	CM 3	0,117	0,55	0,253	0,592	0,43	0,11	0,04	0,01	0,05
CM 3	CM 3B	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 3B	CM 3C	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 3C	CM 4	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 4A	CM 4B	0,098	0,52	0,228	0,542	0,48	0,14	0,03	0,01	0,04
CM 4B	CM 4	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 4	CM 5	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 5	CM 6	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 7A	CM 7B	0,078	0,49	0,201	0,485	0,57	0,20	0,03	0,02	0,05
CM 7B	CM 7	0,067	0,47	0,186	0,452	0,63	0,25	0,03	0,02	0,05
CM 7	CM 8	0,119	0,55	0,253	0,592	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 8	CM 6	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 6	CM 9	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 9	CM 13	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
Caja 6	Caja 7	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
Caja 7	CM 10	0,056	0,45	0,169	0,415	0,73	0,34	0,02	0,03	0,05
CM 10	CM 11	0,099	0,52	0,228	0,542	0,48	0,14	0,03	0,01	0,04
CM 11	CM 12	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 12	CM 13	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 13	CM 14 (paso canal)	0,063	0,47	0,186	0,452	0,60	0,21	0,03	0,02	0,05
CM 14	CM 15	0,063	0,47	0,186	0,452	0,60	0,21	0,03	0,02	0,05
CM 16	CM 17	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05

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
CM 17	CM 18	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 18	CM 15	0,124	0,57	0,265	0,615	0,42	0,10	0,04	0,01	0,05
CM 15	CM 19	0,126	0,57	0,265	0,615	0,43	0,10	0,05	0,01	0,06
CM 19	CM 19 A	0,145	0,59	0,287	0,658	0,44	0,10	0,05	0,01	0,06
CM 19 A	CM 20	0,124	0,57	0,265	0,615	0,44	0,10	0,05	0,01	0,06
CM 20	CM 21	0,124	0,57	0,265	0,615	0,44	0,10	0,05	0,01	0,06
CM 21	CM 22	0,124	0,57	0,265	0,615	0,44	0,10	0,05	0,01	0,06
CM 22	CM 23	0,131	0,58	0,276	0,637	0,43	0,10	0,05	0,01	0,06
CM 23	CM 24 (Paso canal)	0,076	0,49	0,201	0,485	0,62	0,22	0,04	0,02	0,06
CM 24	CM 25	0,107	0,54	0,241	0,568	0,49	0,13	0,04	0,01	0,06
CM 25	CM 26	0,083	0,51	0,215	0,515	0,46	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 26	CM 27	0,085	0,51	0,215	0,515	0,46	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 27	EBAR proyectada	0,094	0,52	0,228	0,542	0,47	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 28	CM 29	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 29	CM 30	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 30	CM 31	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 31	CM 32	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 32	CM 33	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 33	CM 34	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 34	CM 35	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 35	CM 36	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 36	CM 37	0,066	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 37	CM 38	0,072	0,49	0,201	0,485	0,44	0,11	0,04	0,01	0,05
CM 38	CM 39	0,080	0,49	0,201	0,485	0,44	0,11	0,04	0,01	0,05
CM 39	EBAR proyectada	0,086	0,51	0,215	0,515	0,46	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 31	CM 40	0,064	0,47	0,186	0,452	0,42	0,10	0,03	0,01	0,04
CM 40	CM 41	0,073	0,49	0,201	0,485	0,44	0,11	0,04	0,01	0,05
CM 41	CM 42	0,085	0,51	0,215	0,515	0,46	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 42	CM 43	0,090	0,51	0,215	0,515	0,46	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 43	CM 44	0,092	0,52	0,228	0,542	0,47	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 44	CM 45	0,092	0,52	0,228	0,542	0,47	0,12	0,04	0,01	0,05
CM 45	EBAR existente	0,088	0,51	0,215	0,515	0,48	0,13	0,04	0,01	0,05

Tabla 12. Resultados de la modelación de la extensión de redes de alcantarillado sanitario - Parte 5 de 5

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				
Caja 1	Caja 2	961,00	961,25	960,09	960,04	0,75	1,05	OK	OK	OK	OK
Caja 2	Caja 3	961,25	961,25	960,04	959,97	1,05	1,12	OK	OK	OK	OK
Caja 3	Caja 4	961,25	961,75	959,97	959,88	1,12	1,71	OK	OK	OK	OK
CM1A	Caja 4	961,80	961,75	960,44	960,35	1,20	1,24	OK	OK	OK	OK
Caja 4	CM 1	961,75	961,74	959,88	959,87	1,71	1,71	OK	OK	OK	OK
CM 1	CM 2	961,74	961,60	959,87	959,80	1,71	1,64	OK	OK	OK	OK
CM 2	CM 3	961,60	961,29	959,80	959,72	1,64	1,41	OK	OK	OK	OK
Caja 5	CM 3A	960,45	960,50	959,54	959,14	0,75	1,20	OK	OK	OK	OK
CM 3A	CM 3	960,50	961,29	959,14	959,09	1,20	2,04	OK	OK	OK	OK
CM 3	CM 3B	961,29	961,00	959,09	958,99	2,04	1,85	OK	OK	OK	OK
CM 3B	CM 3C	961,00	960,50	958,99	958,89	1,85	1,45	OK	OK	OK	OK
CM 3C	CM 4	960,50	960,10	958,89	958,70	1,45	1,24	OK	OK	OK	OK
CM 4A	CM 4B	960,59	960,24	959,23	958,88	1,20	1,20	OK	OK	OK	OK
CM 4B	CM 4	960,24	960,10	958,88	958,71	1,20	1,23	OK	OK	OK	OK
CM 4	CM 5	960,10	960,00	958,70	958,55	1,24	1,29	OK	OK	OK	OK
CM 5	CM 6	960,00	960,00	958,55	958,49	1,29	1,35	OK	OK	OK	OK
CM 7A	CM 7B	960,80	960,55	959,44	959,19	1,20	1,20	OK	OK	OK	OK
CM 7B	CM 7	960,55	960,42	959,19	959,06	1,20	1,20	OK	OK	OK	OK
CM 7	CM 8	960,42	960,16	959,06	958,79	1,20	1,21	OK	OK	OK	OK
CM 8	CM 6	960,16	960,00	958,79	958,57	1,21	1,27	OK	OK	OK	OK
CM 6	CM 9	960,00	960,00	958,49	958,31	1,35	1,53	OK	OK	OK	OK
CM 9	CM 13	960,00	960,21	958,31	958,28	1,53	1,77	OK	OK	OK	OK
Caja 6	Caja 7	960,67	960,58	959,74	959,63	0,77	0,79	OK	OK	OK	OK
Caja 7	CM 10	960,58	960,43	959,63	959,05	0,79	1,22	OK	OK	OK	OK
CM 10	CM 11	960,43	960,40	959,05	959,01	1,22	1,23	OK	OK	OK	OK
CM 11	CM 12	960,40	960,08	959,01	958,57	1,23	1,35	OK	OK	OK	OK
CM 12	CM 13	960,08	960,21	958,57	958,49	1,35	1,56	OK	OK	OK	OK
CM 13	CM 14 (paso canal)	960,21	960,15	958,17	958,04	1,84	1,91	OK	OK	OK	OK
CM 14	CM 15	960,15	959,77	958,04	957,83	1,91	1,74	OK	OK	OK	OK
CM 16	CM 17	960,62	960,03	959,25	958,71	1,22	1,16	OK	OK	OK	OK
CM 17	CM 18	960,03	959,83	958,71	958,48	1,16	1,19	OK	OK	OK	OK
CM 18	CM 15	959,83	959,77	958,48	958,41	1,19	1,20	OK	OK	OK	OK
CM 15	CM 19	959,77	960,00	957,83	957,8	1,74	2,07	OK	OK	OK	OK
CM 19	CM 19 A	960,00	960,14	957,76	957,7	2,04	2,47	OK	OK	OK	OK
CM 19 A	CM 20	960,14	960,36	957,73	957,47	2,21	2,69	OK	OK	OK	OK
CM 20	CM 21	960,36	960,38	957,47	957,33	2,69	2,85	OK	OK	OK	OK
CM 21	CM 22	960,38	961,15	957,33	957,17	2,85	3,78	OK	OK	OK	OK
CM 22	CM 23	961,15	960,96	957,17	957,11	3,78	3,65	OK	OK	OK	OK
CM 23	CM 24 (Paso canal)	960,96	961,00	957,11	956,99	3,65	3,81	OK	OK	OK	OK
CM 24	CM 25	961,00	960,20	956,99	956,97	3,81	3,03	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				
CM 25	CM 26	960,20	960,25	956,97	956,74	3,03	3,31	OK	OK	OK	OK
CM 26	CM 27	960,25	960,50	956,74	956,64	3,31	3,66	OK	OK	OK	OK
CM 27	EBAR proyectada	960,50	960,41	956,64	956,35	3,66	3,86	OK	OK	OK	OK
CM 28	CM 29	962,15	961,56	960,72	960,12	1,23	1,24	OK	OK	OK	OK
CM 29	CM 30	961,56	961,54	960,12	959,96	1,24	1,38	OK	OK	OK	OK
CM 30	CM 31	961,54	961,87	959,96	959,87	1,38	1,80	OK	OK	OK	OK
CM 31	CM 32	961,87	961,68	959,87	959,59	1,80	1,89	OK	OK	OK	OK
CM 32	CM 33	961,68	961,85	959,59	959,25	1,89	2,40	OK	OK	OK	OK
CM 33	CM 34	961,85	961,50	959,25	958,83	2,40	2,47	OK	OK	OK	OK
CM 34	CM 35	961,50	961,42	958,83	958,65	2,47	2,57	OK	OK	OK	OK
CM 35	CM 36	961,42	961,61	958,65	958,61	2,57	2,80	OK	OK	OK	OK
CM 36	CM 37	961,61	961,31	958,61	958,20	2,80	2,91	OK	OK	OK	OK
CM 37	CM 38	961,31	961,34	958,20	958,10	2,91	3,04	OK	OK	OK	OK
CM 38	CM 39	961,34	961,12	958,10	957,83	3,04	3,09	OK	OK	OK	OK
CM 39	EBAR proyectada	961,12	960,41	957,83	957,69	3,09	2,52	OK	OK	OK	OK
CM 31	CM 40	961,87	961,40	960,44	959,96	1,23	1,24	OK	OK	OK	OK
CM 40	CM 41	961,40	961,22	959,96	959,71	1,24	1,31	OK	OK	OK	OK
CM 41	CM 42	961,22	960,95	959,71	959,12	1,31	1,63	OK	OK	OK	OK
CM 42	CM 43	960,95	960,77	959,12	959,00	1,63	1,57	OK	OK	OK	OK
CM 43	CM 44	960,77	960,69	959,00	958,93	1,57	1,56	OK	OK	OK	OK
CM 44	CM 45	960,69	960,98	958,09	957,95	2,40	2,83	OK	OK	OK	OK
CM 45	EBAR existente	960,98	961,27	957,95	957,87	2,83	3,20	OK	OK	OK	OK

5.3. Resultados de la modelación de las redes existentes que reciben el caudal de los sectores beneficiarios de la extensión de redes

En este subcapítulo se describen los resultados obtenidos en la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado existente operado por Terranova S.A. E.S.P y que recibirá el caudal proveniente de la estación de bombeo de agua residual proyectada.

Con el fin de verificar la capacidad hidráulica y las condiciones operativas del sistema de alcantarillado sanitario existente, se realizó el chequeo hidráulico de siete (7) tramos de la red actualmente en funcionamiento. La evaluación incluyó el tramo inmediatamente aguas arriba de la cámara de inspección existente que recibe los aportes del proyecto (cámara 59 a cámara 63), así como los cuatro (4) tramos consecutivos localizados aguas abajo de dicha cámara (cámaras 63-67-71-75-92), con el propósito de analizar el comportamiento hidráulico del sistema receptor frente a la incorporación de los nuevos caudales proyectados.

Adicionalmente, se incluyeron en el análisis dos (2) tramos ubicados más adelante sobre la misma calle 20 (cámaras 119 a 123 y 201 a 202), los cuales, de acuerdo con la información contenida en los planos as-built del sistema, presentaban pendientes longitudinales reducidas. Debido a esta condición geométrica, dichos sectores fueron considerados críticos desde el punto de vista hidráulico, razón por la cual se efectuó una verificación detallada de su capacidad de transporte, relaciones de llenado, velocidades de flujo y condiciones de autolimpieza.

La verificación hidráulica de los caudales fue desarrollada a partir de la información suministrada por Terranova S.A. E.S.P., correspondiente al número de suscriptores que actualmente aportan a cada uno de los tramos del sistema de alcantarillado sanitario existente. Esta información constituyó la base para la estimación de los caudales domésticos tributarios y para la evaluación del comportamiento hidráulico de la red. En el Anexo 2 se presenta el detalle de los suscriptores asociados a cada

tramo, así como los resultados completos de la modelación hidráulica realizada.

Con el propósito de analizar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones de operación, la modelación hidráulica fue desarrollada considerando dos escenarios de análisis. El primer escenario (ESC 1, ver Tabla 13 a Tabla 15) corresponde a la condición actual de funcionamiento de la red existente, es decir, sin incluir el aporte generado por los 211 suscriptores que serían beneficiarios de la ampliación y extensión de redes proyectada, los cuales descargarán finalmente hacia la EBAR proyectada. Este escenario permitió evaluar el comportamiento hidráulico del sistema bajo las condiciones operativas actuales y establecer una línea base de funcionamiento.

Por su parte, el segundo escenario (ESC 2) contempla la incorporación de los aportes sanitarios correspondientes a los 211 suscriptores proyectados dentro del área de expansión del proyecto. Bajo esta condición se evaluó el comportamiento de la infraestructura existente de Terranova S.A. E.S.P. frente al incremento de caudales generado por la futura conexión de nuevos usuarios, verificando la capacidad hidráulica de los colectores, las condiciones de flujo y el cumplimiento de los criterios técnicos de operación del sistema sanitario.

Tabla 13. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 1 - Parte 1 de 3

Tramo (entre cámaras)		Longitud	Área	Q med.	Factor máx	Q máx	Q Con. Errad	Q infiltración		Q TOTAL	Material	Diámetro
Desde	Hasta	Real	Total	Total				Tramo	TOTAL			Φ
		m	ha	L/s	Adim.	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	-	pulgadas
59	63	26,76	8,38	5,27	2,81	14,81	1,68	0,84	0,84	17,33	PVC	12
63	67	26,59	9,57	5,69	2,80	15,92	1,91	0,96	0,96	18,79	PVC	10
67	71	26,63	10,57	6,11	2,78	17,01	2,11	1,06	1,06	20,18	PVC	10
71	75	26,75	11,33	7,13	2,76	19,65	2,27	1,13	1,13	23,05	PVC	10
75	92	26,86	12,06	7,28	2,75	20,04	2,41	1,21	1,21	23,66	PVC	10
119	123	25,72	13,05	9,69	2,71	26,21	2,61	1,31	1,31	30,12	PVC	12
201	202	25,72	24,36	16,66	2,62	43,56	4,87	2,44	2,44	50,87	PVC	14

Tabla 14. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 1 - Parte 2 de 3

Tramo (entre cámaras)		Pendiente tramo		Coef. De Rugosidad	Sección plena			Relaciones				Valores Reales		
		Real	Chequeo		Q	V	T					v	t	yn
Desde	Hasta	So	So					q/Q	v/V	d/D	t/T			
		%	%	n	L/s	m/s	kg/cm2					m/s	kg/m²	m
59	63	0,37	0,37	0,01	66,40	1,05	0,27	0,26	0,71	0,395	0,849	0,74	0,23	0,11
63	67	0,60	0,60	0,01	46,36	1,15	0,34	0,41	0,81	0,497	0,996	0,92	0,34	0,11
67	71	0,41	0,41	0,01	38,42	0,95	0,23	0,53	0,87	0,576	1,087	0,83	0,25	0,13
71	75	0,30	0,30	0,01	32,68	0,81	0,17	0,71	0,95	0,692	1,181	0,77	0,20	0,16
75	92	0,30	0,30	0,01	32,62	0,81	0,17	0,73	0,96	0,705	1,188	0,77	0,20	0,16
119	123	0,35	0,35	0,01	64,26	1,01	0,25	0,47	0,84	0,537	1,045	0,85	0,26	0,15
201	202	0,08	0,08	0,01	44,11	0,53	0,06	1,15	1,06	0,930	1,168	0,56	0,07	0,30

Tabla 15. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 1 - Parte 3 de 3

Tramo (entre cámaras)		Caída	Cota Rasante		Cotas de batea		Altura a clave		Chequeo			
Desde	Hasta	Tramo	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	y/D	Fuerza Tractiva	Altura a clave I	Altura a clave F
		m	m	m	m	m	m	m				
59	63	0,10	960,33	960,3	958,15	958,05	1,87	1,92	OK	OK	OK	OK
63	67	0,16	960,28	960,2	958,03	957,87	2,00	2,04	OK	OK	OK	OK
67	71	0,11	960,16	960,1	957,92	957,81	1,99	1,99	OK	OK	OK	OK
71	75	0,08	960,05	959,9	957,79	957,71	2,01	1,92	OK	OK	OK	OK
75	92	0,08	959,88	959,8	957,69	957,61	1,94	1,91	OK	OK	OK	OK
119	123	0,09	959,18	959,0	956,78	956,69	2,08	2,03	OK	OK	OK	OK
201	202	0,02	957,13	957,1	954,68	954,66	2,10	2,10	ALTO	REVISAR	OK	OK

Tabla 16. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 2 - Parte 1 de 2

Tramo (entre cámaras)				Diámetro			Pendiente tramo			Sección plena		
		Q TOTAL	Material	Φ	Nominal	Interno	Terreno	Real	Chequeo			
Desde	Hasta							So	So	Q	V	T
		L/s	-	pulg	m	m	%	%	%	L/s	m/s	kg/cm2
59	63	21,53	PVC	12	0,32	0,28	0,00	0,37	0,37	66,40	1,05	0,27
63	67	22,99	PVC	10	0,25	0,23	0,00	0,60	0,60	46,36	1,15	0,34
67	71	24,38	PVC	10	0,25	0,23	0,00	0,41	0,41	38,42	0,95	0,23
71	75	27,25	PVC	10	0,25	0,23	0,01	0,30	0,30	32,68	0,81	0,17
75	92	27,86	PVC	10	0,25	0,23	0,00	0,30	0,30	32,62	0,81	0,17
119	123	34,32	PVC	12	0,32	0,28	0,01	0,35	0,35	64,26	1,01	0,25
201	202	55,07	PVC	14	0,36	0,33	0,00	0,08	0,08	44,11	0,53	0,06

Tabla 17. Resultados de la modelación del alcantarillado existente sobre la calle 20, que recibirá el Q de la EBAR proyectada ESC 2 - Parte 2 de 2

Tramo (entre cámaras)		Relaciones				Valores Reales			Energía		Chequeo			
						v	t	yn	v2/2g	Total (H)				
Desde	Hasta	q/Q	v/V	d/D	t/T	m/s	kg/m²	m	m	m	y/D	Fuerza Tractiva	Altura a clave I	Altura a clave F
59	63	0,32	0,75	0,440	0,918	0,79	0,24	0,12	0,03	0,16	OK	OK	OK	OK
63	67	0,50	0,86	0,556	1,067	0,98	0,36	0,13	0,05	0,18	OK	OK	OK	OK
67	71	0,63	0,92	0,646	1,150	0,87	0,27	0,15	0,04	0,19	OK	OK	OK	OK
71	75	0,83	0,99	0,778	1,214	0,80	0,21	0,18	0,03	0,21	OK	OK	OK	OK
75	92	0,85	1,00	0,792	1,216	0,81	0,21	0,18	0,03	0,21	OK	OK	OK	OK
119	123	0,53	0,88	0,582	1,093	0,89	0,27	0,17	0,04	0,21	OK	OK	OK	OK
201	202	1,25	1,06	0,930	1,168	0,56	0,07	0,30	0,02	0,32	ALTO	REVISAR	OK	OK

El chequeo hidráulico efectuado permitió verificar que la mayoría de los tramos evaluados cuentan con capacidad suficiente para transportar adecuadamente los caudales actuales y proyectados, manteniendo condiciones aceptables de operación conforme a los criterios técnicos establecidos para sistemas de alcantarillado sanitario, tales como capacidad hidráulica, velocidad mínima y fuerza tractiva.

No obstante, se identificó que el tramo comprendido entre las cámaras 201 y 202 presenta un comportamiento hidráulico deficiente debido a la reducida pendiente longitudinal existente. Como consecuencia de esta condición, dicho tramo no cumple con los criterios mínimos de eficiencia hidráulica ni con los valores requeridos de fuerza tractiva para garantizar condiciones adecuadas de autolimpieza y evitar procesos de sedimentación dentro de la conducción.

Con el fin de mejorar el desempeño hidráulico del tramo y asegurar el cumplimiento de los parámetros técnicos de diseño, se recomienda el reemplazo de la tubería existente por una conducción de mayor diámetro, específicamente de 18 pulgadas, lo cual permitiría optimizar las condiciones de flujo y mejorar la capacidad de transporte del sistema en este sector.

5.4. Resultados del dimensionamiento de la EBAR

Caudal de diseño. El caudal de diseño corresponde al caudal máximo horario estimado para los 211 usuarios que descargarán sobre la EBAR proyectada.

$Q_{\text{Diseño EBAR proyectada}}$ = 4,20 Lps.

Número de unidades de bombeo. Se proyectaron dos bombas sumergibles, cada una con una capacidad igual al caudal de diseño de 4,22 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.

$$V_{\text{mínimo Pozo}} = 0{,}25\ \frac{m^3}{min} \times 2{,}5\ \text{min} = 0{,}63\ m^3$$

Los datos del dimensionamiento del pozo se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. 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
0,35	0,80	0,25	0,60	2	0,35	4,20

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
0,45	CIRCULAR	1,50	1,50	2,25	0,45	1,01

Se puede observar que, para las condiciones obtenidas, el volumen útil del pozo de bombeo (1,01 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 para determinar el diámetro de la tubería de impulsión. En la
Tabla **19** se presentan los resultados del cálculo de la tubería de impulsión.

Tabla 19. 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**	**pulgadas**	**m/s**	
1,50	2,40	2,42	**2,5**	1,59	CUMPLE

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 1,59 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.

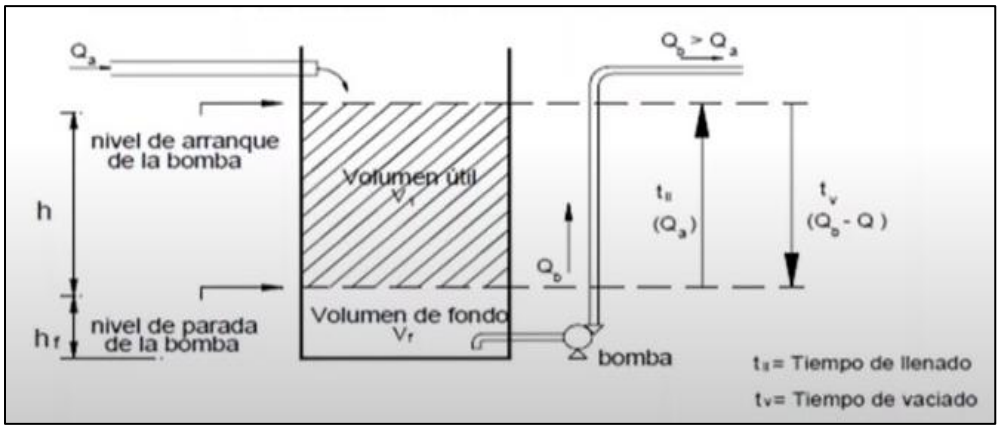


Figura 3. Esquema de volúmenes y nivel de arranque de la bomba en el pozo de succión

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 20 se presenta la alternancia de los equipos de bombeo para el volumen útil del pozo.

Tabla 20. Estimación de la frecuencia de bombeo EBAR

VOLUMEN ÚTIL DEL POZO DE SUCCIÓN	QMÁX DE ENTRADA AL POZO	QBOMBEO	QCRÍTICO
M3	**L/s**	**L/s**	**L/s**
1,01	4,20	4,20	2,10

Q AFLUENTE	TIEMPO DE LLENADO	TIEMPO DE VACIADO	TIEMPO DEL CICLO COMPLETO	FRECUENCIA
L/s		**Minutos**		**(Arranques/ hora)**
1,26	13,39	5,74	19,13	3,1
2,10	8,04	8,04	16,07	3,7
3,15	5,36	16,07	21,43	2,8
4,00	4,22	84,37	88,59	0,7

Se puede observar que, para el caudal crítico de bombeo (2,10 L/s), se tiene que un equipo de bombeo tendrá un máximo estimado de 3,70 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 30 % 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 por debajo del límite máximo recomendado de 20 minutos, garantizando así condiciones adecuadas de funcionamiento hidráulico y operación de la estación de bombeo.

Altura estática. En la Tabla 21 se presentan los niveles de agua en el pozo de bombeo, así como la longitud de la tubería de impulsión.

Tabla 21. 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	
				DENTRO DE LA EBAR	FUERA DE LA EBAR
L/s	msnm	m	PVC	m	
4,20	959,67	0,058	150	6,0	150,05
COTA ARRANQUE	COTA PARADA EN LA EBAR	COTA FONDO CÁMARA DE LLEGADA (63-ALC existente TERRANOVA)		HS NIVEL MÍN	HS NIVEL MÁX
	m.s.n.m.			m	
956,31	955,86	958,03		4,26	3,81

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 22 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.

Tabla 22. Coeficientes de resistencia K de accesorios en la tubería Impulsión de la EBAR

Descripción de Accesorio	Cantidad	Unidad	Valores de K (a)		Hacc
			Unitario*	Subtotal	Subtotal
Entrada recta	1	_	0,5	0,5	0,064
Válvula de Cheque abierta	1	_	2,5	2,5	0,322
Válvula de compuerta abierta	1	_	0,2	0,2	0,026
Reducción Excéntrica	1	_	5	5	0,644
Codos de 90° Radio Corto	1	_	0,9	0,9	0,116
Codos de 45° Radio Corto	4	_	0,4	1,6	0,206
Tee de derivación lateral	1	_	1,8	1,8	0,232
Salida Brusca	1	_	1,0	1	0,129
		Sumatoria Total		13,5	1,74

*Fuente: Manual de EPANET V2.0

Altura dinámica. A partir de los datos consignados en la Tabla 21 y en la Tabla 22, 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 23 y en la Tabla 24.

Tabla 23. Cabeza dinámica total

CÁLCULO DE LA CABEZA DINÁMICA TOTAL DE LA BOMBA			
H_{tub}	H_{acc}	TDH_{Max}	TDH_{Min}
m	m	m	m
6,6	1,74	12,62	12,17

Tabla 24. 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
0,84	0,32	0,337	0,07	4,67	4,22
1,68	0,64	1,216	0,28	5,75	5,30
2,52	0,95	2,574	0,63	7,46	7,01
3,36	1,27	4,382	1,11	9,76	9,31

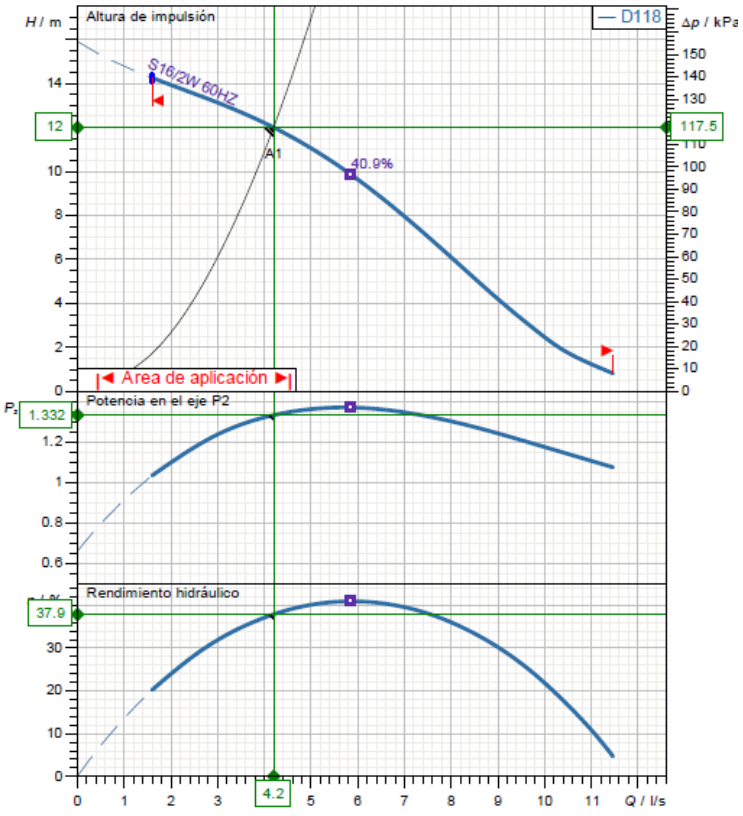
CAUDAL L/s	VELOCIDAD m/s	H_{tub} m	H_{acc} m	TDH_{Max} m	TDH_{Min} m
4,20	1,59	6,622	1,74	12,62	12,17
5,04	1,91	9,278	2,50	16,04	15,59
5,88	2,23	12,340	3,41	20,01	19,56
6,72	2,54	15,798	4,45	24,51	24,06
7,56	2,86	19,644	5,63	29,54	29,09
8,40	3,18	23,872	6,96	35,09	34,64

Bomba seleccionada. En la siguiente tabla se presentan las especificaciones de la bomba seleccionada.

Tabla 25. Especificaciones técnicas bomba seleccionada

					Boca impulsión DN65	Frecuencia 60 Hz
Densidad 998.2 kg/m³	Viscosidad 1 mm²/s	Normas de referencia ISO 9906, HI 11.6/14.6≤10kW			Velocidad nominal 3417 1/min	Fecha 13/03/2026
Caudal 4.2 l/s	Altura 12 m	Pot. en el eje P2 1.33 kW	Potencia P1 1.76 kW	Pot. abs. ejeP2 1.6 kW	Rendimiento hidr. 37.9 %	NPSH

Del mismo modo, en la Figura 4 se presenta la curva de la bomba seleccionada.



CAUDAL L/s	HDT m
2,0	13,9
3,0	13,0
4,0	12,0
5,0	11,0
6,0	9,5
7,0	8,0
8,0	6,0
9,0	4,0
10.0	2.5

Figura 4. Curva de la bomba - Datos del fabricante de la bomba

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.

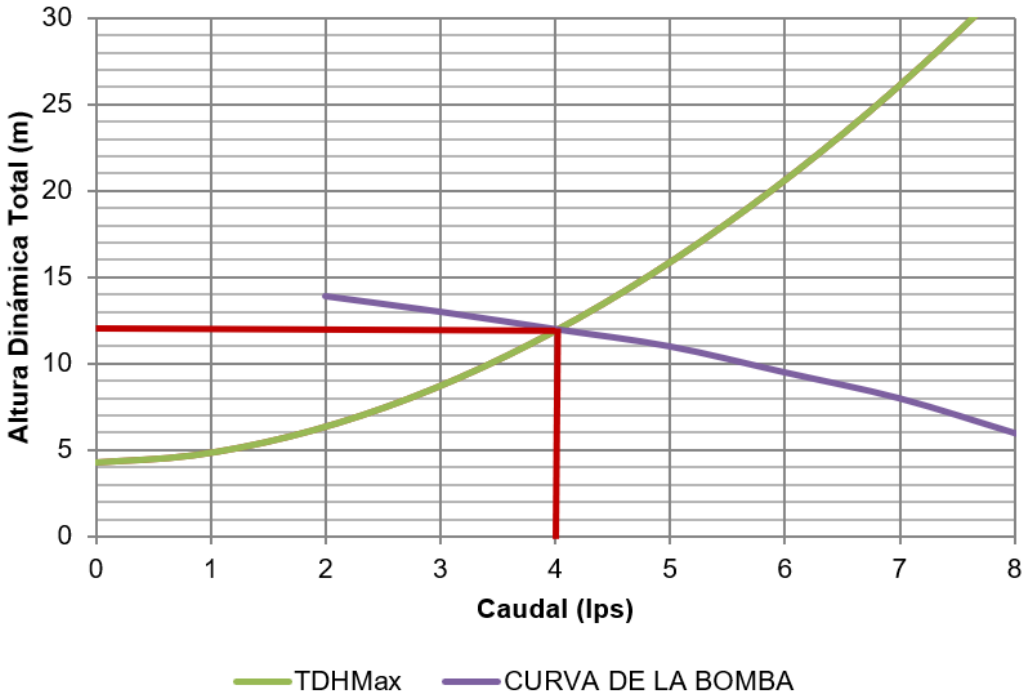


Figura 5. Curva del sistema de tuberías vs curva de la bomba – EBAR natas

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 26 se presenta la potencia requerida por la bomba.

Tabla 26. Potencia requerida por las bombas

Caudal de diseño (lps)	Eficiencia Bomba (%)	Factor de Potencia	Factor de Conversión de KV a HP	Costo de energía ($/KV-H)
4,20	38	1,15	1,34	800

DIÁMETRO (pulg)	2,5
HDT (m)	12,62
Potencia (HP)	2,1
Potencia (KV)	1,59

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

Donde,

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

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.

ANEXOS

No. Anexo	Nombre de anexo	Tipo de archivo	Contenido
1	DH ALC SAN DIEGO-VILLA DELFA	Libro de excel	Modelación de las redes proyectadas
2	Chequeo alcantarillado existente Terranova	Libro de Excel dwg	-Libro de Excel con modelación de tramos existentes que reciben el caudal de los usuarios beneficiados por el proyecto de extensión de redes -Libro de Excel con información de usuarios que actualmente aportan caudal a las redes que se chequearon -Dwg con áreas tributarias al sistema existente de Terranova
3	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
4	Planos de diseño hidráulico	Dwg pdf	Diez(10) planos de diseño hidráulico
5	Servidumbres	Libro de excel	Identificación de servidumbres

BIBLIOGRAFÍA