



## Estudio de factibilidad La Fortuna de San Carlos

Costa Rica



Financiado por



Co-implementado por



Co-ejecutado por



Más derechos para más gente

**El desarrollo de la Estudio de factibilidad La Fortuna de San Carlos fue liderado por la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) bajo el Proyecto GEF CReW+.**

El GEF CReW+ es un proyecto de asociación financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) que está siendo implementado conjuntamente por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 18 países de la Región del Gran Caribe (RGC).

Este proyecto se basa en su anterior fase exitosa del proyecto “El Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW)” (2011-2017). CReW+ está siendo ejecutado por Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de los Estados Americanos (OEA) y la Secretaría del Convenio de Cartagena (CAR/RCU) en nombre del BID y el PNUMA, respectivamente.

Los 18 países participantes en el CReW+ (Barbados, Belice, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Grenada, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Panamá, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, St. Vincent and the Grenadines, Surinam, Trinidad y Tobago) varían geográficamente, desde grandes países continentales hasta pequeños estados insulares con contextos políticos, lingüísticos y culturales significativamente diferentes.

Sobre el GEF: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) ha proveído de \$22 millones en donaciones y blended finance y ha movilizó cerca de \$120 billones en cofinanciamiento en más de 5200 proyectos y programas. El GEF es el fondo fiduciario más grande enfocado en permitir a países en desarrollo invertir en la naturaleza y apoya la implementación de convenios internacionales en biodiversidad, cambio climático, químicos y desertificación. Reúne 184 gobiernos, adicionalmente sociedad civil, organizaciones internacionales, sector privado y aliados.

<b>Publicado por:</b>	<i>Proyecto GEF CReW+ Implementando soluciones para la gestión integrada del agua y las aguas residuales para un Caribe limpio y saludable</i>
<b>Autores:</b>	<i>Hidrogeotecnia Ltda.</i>
<b>Diseño:</b>	<i>Proyecto GEF CReW+</i>
<b>Fecha:</b>	<i>Julio 2022</i>
<b>Encargado por:</b>	<i>Grupo de Coordinación Inter-Agencial (IACG por sus siglas en Ingles)</i>

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los/as autores/as y no necesariamente reflejan los puntos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Secretaría del Convenio de Cartagena (CAR/RCU), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de los Estados Americanos (OEA) o los países que representan.

El uso comercial no autorizado de los documentos está prohibido y puede ser sancionado según las políticas de las agencias y/o las leyes aplicables.

[www.gefcrew.org](http://www.gefcrew.org)

# Contenido

Contenido.....	3
Índice de Tablas .....	6
Índice de Figuras.....	10
Siglas .....	12
1. Resumen ejecutivo de la consultoría.....	15
2. Introducción.....	18
3. Objetivos del proyecto.....	19
3.1. Objetivo general .....	19
3.2. Objetivos específicos.....	19
3.3. Resultados o productos esperados.....	20
4. Diseño preliminar .....	21
4.1. Alcantarillado sanitario .....	21
4.1.1. Explicación de las opciones de alcantarillado sanitario .....	21
4.1.2. Dimensionamiento hidráulico, sanitario, estructural y electromecánico del alcantarillado sanitario .....	22
4.1.3. Dimensionamiento hidráulico, sanitario, estructural y electromecánico de la estación de bombeo.....	28
4.1.4. Especificaciones técnicas.....	33
4.1.5. Análisis de necesidad de terrenos.....	62
4.1.6. Presupuesto preliminar .....	68
4.1.7. Priorización de obras.....	75
4.1.8. Cronograma preliminar de obras.....	77
4.2. Planta de tratamiento de aguas residuales .....	77
4.2.1. Dimensionamiento hidráulico, sanitario, estructural y electromecánico ..	77
4.2.2. Especificaciones técnicas.....	142
4.2.3. Presupuesto preliminar .....	183
4.2.4. Priorización de obras.....	190
4.2.5. Cronograma preliminar de obras.....	190
5. Factibilidad financiera.....	193

5.1.	Esquema metodológico.....	193
5.1.1.	Aspectos generales del análisis.....	193
5.1.2.	Flujo financiero y económico para la opción seleccionada .....	195
5.2.	Parámetros y Resultados Análisis Financiero .....	196
5.2.1.	Parámetros para el análisis.....	196
5.2.2.	Determinación de tasas de inflación, índices y tasas de cambio .....	198
5.2.3.	Presupuesto y plan global de inversiones del proyecto.....	200
5.2.4.	Determinación del cuadro de préstamo o recursos .....	203
5.2.5.	Análisis en un entorno inflacionario, escalamiento en la inversión.....	208
5.2.6.	Cálculo de demanda para estimar el ingreso de caja .....	208
5.2.7.	Tarifa para el escenario base.....	212
5.2.8.	Proyección de ingresos .....	214
5.2.9.	Proyección de costos de operación y mantenimiento.....	217
5.2.10.	Niveles de deuda y capacidad de pago de ASADA.....	226
5.2.11.	Capacidad de pago de ASADA operación conjunta acueducto y alcantarillado.....	227
5.2.12.	Flujo de caja e indicadores de rentabilidad.....	229
5.2.13.	Flujo de Caja y Análisis de sensibilidad .....	234
5.2.14.	Tarifa luego de los escenarios de sensibilización .....	245
5.3.	Análisis con colectores fuera área de protección .....	246
5.3.1.	Presupuesto considerando esta Opción 2.....	248
5.3.2.	Flujo de caja para esta Opción 2.....	251
5.3.3.	Resultados rentabilidad Opción 2 .....	255
6.	Análisis Económico y Social .....	256
6.1.	Análisis Económico .....	256
6.2.	Metodología y parámetros del análisis económico.....	257
6.3.	Flujo económico y resultados.....	260
6.4.	Análisis Social y Distributivo .....	272
7.	Factibilidad ambiental.....	277
8.	Borrador de términos de referencia .....	278

9. Tramitología .....	278
10. Permiso de vertido .....	281
11. Permiso de ubicación.....	282
12. Permiso para reúso de aguas residuales y biosólidos.....	284
12.1. Reúso y disposición agua residual.....	284
12.2. Reúso y disposición de biosólidos.....	285
13. Disponibilidad de servicios .....	286
13.1. Agua potable.....	286
13.2. Servicio eléctrico .....	287
13.3. Residuos sólidos.....	287
14. Ficha técnica del MIDEPLAN.....	288
15. Conclusiones de etapa 3 .....	295
16. Conclusiones de la consultoría .....	297
17. Bibliografía.....	299
18. Anexos.....	304
18.1. Anexo 1. Memoria de cálculo alcantarillado sanitario.....	305
18.1.1. Opción 1. Alcantarillado sanitario.....	305
18.1.2. Opción 2. Alcantarillado sanitario.....	324
18.2. Anexo 2. Memoria de cálculo Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	342
18.3. Anexo 3. Presupuesto preliminar de obras .....	342
18.4. Anexo 4. Formulario D1 SETENA y estudios técnicos .....	342
18.5. Anexo 5. Documentación de los servicios públicos .....	342
18.6. Anexo 6. Láminas del prediseño.....	342
18.7. Anexo 7. Términos de Referencia.....	342
18.8. Anexo 8. Cronograma preliminar .....	342
18.9. Anexo 9. Montos unitarios del presupuesto preliminar de la PTAR.....	343

## Índice de Tablas

Tabla 1. Resultados esperados del estudio de factibilidad para el proyecto de saneamiento en La Fortuna de San Carlos, Alajuela.....	20
Tabla 2. Dotación neta de la zona de estudio .....	23
Tabla 3. Dotación bruta de la zona de estudio.....	24
Tabla 4. Caudal máximo de aguas residuales por sector .....	25
Tabla 5. Longitud de tuberías Opción #1 .....	27
Tabla 6. Longitud de tuberías Opción #2 .....	27
Tabla 7. Caudal estimado por colector.....	28
Tabla 8. Cálculo de las pérdidas de energía.....	31
Tabla 9. Cálculo del golpe de ariete para la tubería de impulsión .....	33
Tabla 10. Posibles terrenos para la estación de bombeo .....	63
Tabla 11. Propiedades para colocar colectores en zona de protección .....	64
Tabla 12. Presupuesto Diseño Preliminar Opción #1.....	68
Tabla 13. Presupuesto Diseño Preliminar Opción #2.....	71
Tabla 14. Estimación de Costos de O&M .....	73
Tabla 15. Etapas de Priorización de Obras.....	75
Tabla 16. Cronograma preliminar de obras .....	77
Tabla 17. Carga hidráulica para el 2050.....	78
Tabla 18. Concentración de contaminantes a tratar para el 2050. (GIZ, 2021).....	78
Tabla 19. Consideración de diseño de pretratamientos mecanizados. ....	87
Tabla 20. Características generales de los equipos del sistema mecanizado del pretratamiento. ....	88
Tabla 21. Resumen de parámetros de diseño para tanque de homogenización. ....	89
Tabla 22. Características generales de los equipos del tanque homogenización. ....	89
Tabla 23. Información base de caudales horarios de aguas residuales municipales para dimensionamiento del tanque homogenizador.....	92
Tabla 24. Parámetros de diseño para reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB). ....	96
Tabla 25. Resumen de parámetros de diseño para filtros percoladores. ....	111
Tabla 26. Características generales de los equipos de los filtros percoladores- ....	113
Tabla 27. Resumen de parámetros de diseño para sedimentadores secundarios. ....	123
Tabla 28. Características generales de los equipos de los sedimentadores secundarios. ....	123
Tabla 29. Resumen de parámetros de diseño para sedimentadores secundarios. ....	126
Tabla 30. Características generales de los equipos de los lechos de secado.....	126
Tabla 31. Componentes del sistema de la PTAR.....	136
Tabla 32. Verificación del armado en paredes. ....	137

Tabla 33. Extracto de la tabla 20.5.1.3.1 del código ACI 318-19. ....	138
Tabla 34. Valores de carga. ....	140
Tabla 35. Principales aspectos a ser evaluados en el análisis de unidades que componen el tratamiento preliminar. ....	142
Tabla 36. Principales lineamientos para el diseño, construcción y operación relacionados con el control de la formación de espumas en el compartimiento de sedimentación. ....	145
Tabla 37. Directrices para el diseño, construcción y operación del dispositivo de eliminación de espumas. ....	145
Tabla 38. Características físicas de la piedra como material de empaque para los filtros percoladores (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). ....	151
Tabla 39. Parámetros de análisis obligatorio de los biosólidos ordinarios para su disposición final en rellenos sanitarios y suelos. ....	159
Tabla 40. Límites permisibles para los parámetros de análisis obligatorio de los biosólidos de tipo ordinario, según disposición final. ....	160
Tabla 41. Estimación de la generación de electricidad a través del metano producido por la PTAR. ....	169
Tabla 42. Identificación de sitios donde se podrían generar olores y las acciones de prevención y mitigación. (Stuetz & Frechen, 2001) ....	171
Tabla 43. Acciones y recomendaciones para el manejo de las emisiones fugitivas... 174	
Tabla 44. Algunas recomendaciones para los sistemas de escape y recolección de los gases residuales. (Chernicharo, y otros, 2018) ....	175
Tabla 45. Tipos de tratamiento de olores de las unidades de tratamiento (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). ....	178
Tabla 46. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias. ....	181
Tabla 47. Cálculo de la demanda de agua para reúso para lavado y servicios sanitarios. ....	182
Tabla 48. Presupuesto preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales. ....	185
Tabla 49. Parámetros económicos para el proyecto de saneamiento en La Fortuna. ....	197
Tabla 50. Cálculo de tasas para descuento de los flujos. ....	197
Tabla 51. Parámetros tarifa y otros indicadores técnicos. ....	198
Tabla 52. Condiciones de tasa de inflación interna y externa y tasas de cambio proyectadas. ....	199
Tabla 53. Plan Global de Inversiones del Proyecto. ....	202
Tabla 54. Condiciones asumidas para el financiamiento del proyecto. ....	204
Tabla 55. Préstamo según condiciones asumidas para el financiamiento del proyecto (Parte 1). ....	206
Tabla 56. Préstamo según condiciones asumidas para el financiamiento del proyecto	

(Parte 2). .....	207
Tabla 57. Proyección por abonados y por criterio INEC y turismo. Población Final Diseño Alcantarillado. ....	209
Tabla 58. Análisis de los consumos históricos y abonados para el Acueducto de la Fortuna. ....	211
Tabla 59. Número de Conexiones actuales por categoría de consumo 2021.....	212
Tabla 60. Determinación de la tarifa promedio del alcantarillado derivada de promedios de consumo de la ASADA como 1er criterio .....	213
Tabla 61. Ingresos, consumo y tarifa promedio de estados financieros. Segundo criterio. ....	214
Tabla 62. Abonados, volumen de aguas residuales, tarifa e ingresos proyectados (Parte 1). ....	215
Tabla 63. Abonados, volumen de aguas residuales, tarifa e ingresos proyectados (Parte 2). ....	216
Tabla 64. Costos de O&M proyectados con inflación Redes por gravedad para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses (Parte 1). ....	218
Tabla 65. Costos de O&M proyectados con inflación Redes por gravedad para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses (Parte 2). ....	220
Tabla 66. Costos de O&M proyectados con inflación PTAR para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses- (Parte 1).....	222
Tabla 67. Costos de O&M proyectados con inflación PTAR para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses- (Parte 2).....	224
Tabla 68. Margen operativo de la ASADA una vez operando el alcantarillado, considerando ingresos, costos y servicio de la deuda. ....	226
Tabla 69. Margen operativo anual de la ASADA consolidados del acueducto y una vez operando el alcantarillado, considerando ingresos, costos y servicio de la deuda. ....	228
Tabla 70. Flujo de Caja del Proyecto cifras en colones con inflación (Parte 1). ....	230
Tabla 71. Flujo de Caja del Proyecto cifras en colones con inflación (Parte 2). ....	232
Tabla 72. Resultados de rentabilidad del Proyecto para la Opción PTAR y colectores dentro de la zona de protección.....	233
Tabla 73. Estados financieros de la ASADA y de la operación del acueducto mostrando el flujo neto comparando los dos últimos años completos (año 2020 de la pandemia) .....	235
Tabla 74. Utilidad neta de la ASADA y de la operación del acueducto mostrando sus utilidades comparando los dos últimos años completos (año 2020 de la pandemia)	236
Tabla 75. Niveles de deuda de la ASADA de la operación actual del acueducto mostrando los dos últimos dos años completos. ....	236
Tabla 76. Resultados de sensibilización para el nuevo proyecto de alcantarillado....	238
Tabla 77. Propuesta de ingresos para cubrir parte del servicio de la deuda .....	241

Tabla 78. Escenarios de tarifa según condiciones de préstamo y aportes al proyecto. .....	246
Tabla 79. Algunos parámetros comparativos entre ambas opciones de los colectores. .....	247
Tabla 80. Costos del Proyecto Opción 2 PTAR + colectores fuera de las áreas de protección.....	249
Tabla 81. Comparación entre Opciones.....	250
Tabla 82. Flujo de Caja proyectado con Opción 2 en colectores, fuera de zona de protección. Parte 1.....	252
Tabla 83. Flujo de Caja proyectado O&M con Opción 2 en colectores, fuera de zona de protección. Parte 2.....	254
Tabla 84. Resultados rentabilidad Opción 2 .....	255
Tabla 85. . Parámetros y Factores de Corrección para el análisis económico y social. .....	259
Tabla 86. Flujo Económico del Proyecto de Alcantarillado de Sanitario. Inversiones en Redes y Colectores. Cifras en colones.....	261
Tabla 87 Flujo Económico del Proyecto de PTAR para años seleccionados. Cifras en colones.....	264
Tabla 88. Flujo Económico del Proyecto con los costos de O&M y Flujo Económico Neto. Cifras en colones.....	269
Tabla 89. Resultados Rentabilidad Económica del Proyecto de Alcantarillado de Sanitario .....	272
Tabla 90. Flujo de Externalidades del Proyecto de Alcantarillado de Sanitario.....	275
Tabla 91. Síntesis de los principales factores ambientales impactados del formulario D1. .....	277
Tabla 92. Tramitología por realizar para la realización de proyecto de saneamiento. .....	279

## Índice de Figuras

Figura 1. Zanja para tubería (Pavco Wavin, 2020) .....	34
Figura 2. Detalle de ancho de zanja (Pavco Wavin, 2020).....	35
Figura 3. Tipo de cimentación de la zanja (Pavco Wavin, 2020) .....	38
Figura 4. Dado de contención (Pavco Wavin, 2020).....	41
Figura 5. Ubicación de posibles lotes para EB .....	63
Figura 6. Esquema de priorización de obras del alcantarillado sanitario.....	76
Figura 7. Diagrama de flujo simplificado de la PTAR.....	80
Figura 8. Balance de masas preliminar #1 del sistema de tratamiento.....	81
Figura 9. Balance de masas preliminar #2 del sistema de tratamiento.....	82
Figura 10. Ejemplo de esquema hidráulico del ingreso a la PTAR. ....	83
Figura 11. Esquema hidráulico del ingreso a la PTAR La Fortuna.....	84
Figura 12. Ejemplo de aliviadero lateral.....	87
Figura 13. Gráfico acumulativo de volumen para el dimensionamiento del tanque homogenización.....	95
Figura 14. Definición de parámetros sobre disposición del refuerzo. ....	138
Figura 15. Tamaño máximo nominal del agregado grueso en losas de concreto (muros, losas de tapa y cimentación). ....	139
Figura 16. Patrones de carga. ....	140
Figura 17. Identificación de puntos de acumulación de espuma en reactores UASB. (Chernicharo, y otros, 2018).....	144
Figura 18. Esquema de la canaleta de recolección de espumas. (Chernicharo, y otros, 2018).....	146
Figura 19. Ejemplo de un sistema de toma muestras de lodos en un reactor UASB. (Chernicharo, y otros, 2018).....	149
Figura 20. Ejemplo de la ubicación de las tuberías de descarte en un reactor UASB. (Chernicharo, y otros, 2018).....	150
Figura 21. Ejemplo del equipo del sistema distribución rotatorio.....	152
Figura 22. Afectación del crecimiento del nivel superficial de la Quebrada La Danta para un evento de lluvias para un periodo retorno de 100 años.....	157
Figura 23. Perfil del nivel de agua de la Quebrada La Danta en condiciones ordinarias y en un evento de lluvias para un periodo retorno de 100 años. ....	157
Figura 24. Detalle del medio de drenaje (Sperling, 2007).....	158
Figura 25. Detalle de como de la capa soporte utilizando ladrillos (Sperling, 2007). 158	
Figura 26. Esquema de filtro para remoción simultánea de sedimentos y de condensados.....	164
Figura 27. Ejemplo de compartimiento para la captura de sedimentos y condensados. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017) ....	165

Figura 28. Esquema de válvulas de alivio de presión/rompedora de vacío. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).....	166
Figura 29. Esquema de sello hidráulico como regulador hidráulico de sobrepresión y vacío. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017) .....	166
Figura 30. Ejemplo esquemático de arrestaflama vertical, válvula reguladora de presión y arrestaflama horizontal (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).....	167
Figura 31 Ejemplo de manómetro para la medición de presión. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).....	168
Figura 32. Ejemplo de medidor de caudal. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).....	168
Figura 33. Diagrama de unidades de tratamiento con riesgo de generación de malos olores.....	173
Figura 34. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos para el tratamiento preliminar (Chernicharo, y otros, 2018).....	176
Figura 35. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos dentro de reactores UASB (Chernicharo, y otros, 2018).....	177
Figura 36. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos para las cajas de distribución caudal en reactores UASB (Chernicharo, y otros, 2018) .....	177
Figura 37. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos dentro de reactores UASB (Chernicharo, y otros, 2018).....	178
Figura 38. Diagrama de biofiltro con relleno en el fondo. (Chernicharo, y otros, 2018). .....	179
Figura 39. Diagrama de biofiltro con fondo falso (Chernicharo, y otros, 2018). .....	180
Figura 40. Diagrama de biofiltro prefabricado (Chernicharo, y otros, 2018).....	180
Figura 41. Cronograma preliminar de la ejecución de obras pendientes de la PTAR. 192	
Figura 42. Comprobante de envío del trámite del permiso de vertido.....	281
Figura 43. Precios unitarios de algunos de los rubros del presupuesto preliminar de la PTAR.....	344

## Siglas

**ADIFORT:** Asociación de Desarrollo Integral de La Fortuna

**ANC:** Agua no contabilizada

**ASUB:** Área de Aguas Subterráneas

**AyA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

**APP:** Asociación público-privada

**ARESEP:** Autoridad Reguladora de Servicios Públicos

**ASADA:** Asociaciones administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales en Costa Rica

**ASTM:** Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

**AWWA:** Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas

**B/C:** Índice beneficio costo

**BCIE:** Banco Centroamericano de Integración Económica

**BCCR:** Banco Central de Costa Rica

**BID:** Banco Interamericano de Desarrollo

**BM:** Banco Mundial

**BMZ:** Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo

**BT:** Bienes transables

**BTN:** Bienes no transables

**CHS:** Carga hidráulica superficial

**CHV:** Carga hidráulica volumétrica

**COV:** Carga orgánica volumétrica

**DBO:** Demanda bioquímica de oxígeno

**DOMIPRE:** Conexión domiciliar y preferencial

**DQO:** Demanda química de oxígeno

**EAAS:** Ente Administrador de un Alcantarillado Sanitario

**EB:** Estación de bombeo

**EMPREGO:** Conexión empresarial y de gobierno

**ESPH:** Empresa de Servicios Públicos de Heredia

**FEC:** Factor Estándar de Conversión

**GIZ:** Agencia de Cooperación Alemana

**HI:** Instituto de Hidráulica

**INDER:** Instituto de Desarrollo Rural

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos

**JASEC:** Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago

**IPC:** Índice de precios al consumidos

**JBIC:** Banco Japonés de Cooperación Internacional

**MEIC:** Ministerio de Economía, Industria y Comercio

**MIDEPLAN:** Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica

**MINAE:** Ministerio de Ambiente y Energía

**MINSA:** Ministerio de Salud

**NPSH:** Net Positive Suction Head (altura neta positiva de aspiración)

**OEA:** Organización de los Estados Americanos

**O&M:** Operación y Mantenimiento

**PEAD:** Polietileno de alta densidad

**PGI:** Plan Global de Inversiones

**PNUMA:** Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente

**PTAR:** Planta de tratamiento de agua residual

**PVC:** Policloruro de vinilo

**SENARA:** Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento

**SETENA:** Secretaría Técnica Nacional Ambiental

**SLR:** Tasa de carga de sólidos

**SST:** Sólidos suspendidos totales

**SSV:** Sólidos orgánicos

**TCV:** Tasa de carga de diseño de vertederos

**TDH:** Tiempo de retención hidráulico

**TdR:** Términos de referencia

**TIR:** Tasa Interna de Retorno

**TIRE:** Tasa Interna de Retorno Económico

**TSD:** Tasa Social Descuento

**VANE:** Valor Actual Neto Económico

**VPN:** Valor Presente Neto

**UASB:** Reactor anaerobio de flujo ascendente

**USA:** Estados Unidos

**UV:** Radiación ultravioleta

# 1. Resumen ejecutivo de la consultoría

La Fortuna es el distrito número 7, perteneciente al cantón de San Carlos, en la provincia de Alajuela, Costa Rica. Según el Plan de Desarrollo Distrital de La Fortuna esta tiene una extensión de 225 kilómetros cuadrados, con una población al 2021 según censo del INEC de 19 297 personas. La densidad poblacional del sector está influenciada por la actividad turística, con una mayor actividad en los meses entre junio y noviembre, generando una población flotante muy importante, la cual incide en los picos de consumo de agua potable y también en las descargas de aguas residuales a un futuro sistema de recolección y tratamiento. Es por el turismo que la zona ha tenido un gran progreso socioeconómico, en comparación a otros sectores rurales del país. La Fortuna es abastecida por la Asociación Administradora del Acueducto de La Fortuna de San Carlos, ente que tendrá a cargo la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado sanitario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), con el fin de preservar y mejorar la salud de sus habitantes, el ambiente y desarrollo en las comunidades integrantes del proyecto.

Inicialmente el estudio de factibilidad contempló el análisis de la cobertura del saneamiento, identificación de fuentes de contaminación, descripción de los medios de tratamiento y disposición de las aguas residuales, evaluación preliminar de cuerpos de agua superficiales y caracterización de las descargas de aguas residuales de las diferentes actividades para el establecimiento de la línea base de las condiciones ordinarias de saneamiento del área de estudio. Esto a través de un instrumento como la encuesta, visitas de campo, muestreos a cuerpos de aguas superficiales y descargas de comercios, recopilación de información a través de las partes interesadas, sistemas de información geográfica, referencias bibliográficas, entre otros. A su vez, se realizó un estudio de mercado para determinar las características de la población (proyecciones poblacionales, población flotante, otros) y evaluar las capacidades de pago de la población para la construcción y operación de un sistema de alcantarillado y planta de tratamiento de las aguas residuales para un horizonte del proyecto al 2050. A partir de las proyecciones poblacionales, se determina una población de diseño de 23077 habitantes para el 2050, considerando un crecimiento anual de 2.5%

El estudio de caudales de aguas residuales dio como resultado inicialmente una dotación total neta de 637.6 l/p/d y, mediante el análisis de proyecciones poblacionales, se determinó para el 2050 un caudal promedio de aguas residual de 136.2 l/s, caudal máximo diario de 172.2 l/s y máximo horario de 254.0 l/s. El análisis de cargas orgánicas del general del proyecto como resultados 5842.7 kg/d DBO, 13310.6 kg/d DQO y

4805.7 kg/d de SST. Dicha carga orgánica resultante está conformada por la proyección de la carga orgánica que aportaría el sector residencial y el comercial.

Se realizó un dimensionamiento y presupuesto preliminar correspondiente a 3 alternativas de alcantarillado sanitario, donde la opción 1 representa una conducción mayoritariamente por gravedad; la opción 2 considera la recolección de las aguas residuales por gravedad y contempla la utilización de estaciones de bombeo ubicadas estratégicamente. Por último, la tercera opción representaba la alternativa con un sistema de succión para el transporte de las aguas residuales. Por otra parte, se compara 3 tecnologías de tratamiento de aguas residuales, donde la opción 1 representa Reactores UASB +Filtros Percoladores, la opción 2 Reactores UASB +Lodos Activados y la opción 3 Reactores UASB +Lagunas Aireadas.

Producto de la evaluación multicriterio realizada con las partes interesadas, se determina que la alternativa 1 (Recolección por gravedad) de alcantarillado sanitario y la alternativa 1 (Reactores UASB +Filtros Percoladores) de plantas de tratamiento de aguas residuales son las opciones más adecuadas según las condiciones de la zona de estudio.

Una vez definidas las alternativas de recolección y tratamientos de las aguas residuales se definieron los dimensionamientos preliminares, la distribución espacial, especificaciones hidráulicas, especificaciones sanitarias, especificaciones electromecánicas y especificaciones estructurales. Se definieron esquemas preliminares y memorias de cálculo de la red de alcantarillado y sistema de tratamiento de aguas residuales.

El análisis de presupuestos de costos de inversión, costos de operación y mantenimiento definieron el monto de inversión total en el escenario base seleccionado, considerando los costos directos de US\$18.835.980,00 y los costos indirectos (preinversión, diseños finales, gastos financieros, imprevistos y escalamiento) de \$4.455.141,00, da un total de proyecto de \$23.291.121,00. Con el diseño final se terminarán de afinar estas cifras. La etapa de preinversión se contempla en 3 años, necesarios para efectuar los diseños finales, permisos, consecución de financiamiento, licitación y construcción de obras.

Se hizo también una investigación del mercado para el proyecto definiendo su área de influencia, cobertura del nuevo alcantarillado con respecto al acueducto actual y caracterización del mercado meta. Del estudio de mercado se proyecta la población a ser servida al horizonte del proyecto. Este horizonte a un total de 30 años, incluyen los 3 años de ejecución. Es decir se consideran 3 años de ejecución y 27 años de operación.

Analizando la rentabilidad financiera del proyecto, complementando con el análisis económico y social o externalidades del mismo. Al no generar, una rentabilidad financiera, el análisis se centra, dada la gran importancia ambiental y social de este proyecto, en cómo y a partir de cuál estructuración financiera en torno a su capitalización se podría dar esa viabilidad financiera al proyecto, logrando el fondeo necesario para su ejecución. Para ello es necesario allegar recursos de cuatro posibles fuentes: 1) recursos sin costo, de una fuente gubernamental; 2) recursos bajo la figura de una asociación público privada APP, incorporando un socio capitalista, como podría ser la ADIFORT u otra entidad con posibilidades e interés en participar en el proyecto como socio con la Asada La Fortuna; 3) Donaciones de fondos ambientales o de saneamiento, disponibles a nivel internacional; 4) Préstamo en condiciones concesionales. Para esta última opción, el monto del financiamiento posible, se define en función de la capacidad de pago de la Asada, que después de sensibilizar el modelo, responde a poco más de la tercera parte de la inversión directa, es decir aproximadamente US\$6.65 millones. Monto de un préstamo concesional que la Asada, con el nivel de ingresos esperados por el nuevo servicio podría asumir.

Se obtiene un valor de externalidades positivo de US\$2.564.922. Este valor refleja una buena parte de los beneficios producto del mejoramiento de la calidad ambiental, por la eliminación de descargas clandestinas, presencia de vectores, olores, mosquitos y fauna nociva, así como el impacto sobre el mejoramiento de la salud de la población en general.

## 2. Introducción

En el 2016, el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) como donante líder y la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ) como entidad implementadora lanzaron *Sanitation for Millions*, una iniciativa multidonante para atender los problemas de agua y saneamiento y contribuir efectivamente en alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles 6, 4 y 3. Para mayor detalle <https://www.giz.de/en/worldwide/42666.html>

*Sanitation for Millions* tiene como objetivo proveer acceso adecuado y equitativo al saneamiento. Sus actividades se centran en las necesidades de grupos vulnerables y en desventaja como niños, mujeres y chicas, refugiados, personas con discapacidades y comunidades indígenas.

*Sanitation for Millions* busca soluciones sostenibles considerando la cadena de saneamiento y aplicando criterios para asegurar resultados a largo plazo y que sean económicamente viables y socialmente aceptables sin dejar a ninguna persona atrás. Siendo un programa global, *Sanitation for Millions* se beneficia del intercambio de experiencias y de la gestión de conocimientos entre un país y otro.

El programa es apoyado por el BMZ como donante principal y cofinanciado por la Fundación Bill & Melinda Gates, el fondo de solidaridad británico Water Unite, el Ministerio de Asuntos Exteriores y Comercio de Hungría y, desde 2020, por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

GEF CReW + es un proyecto de colaboración financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM / GEF por sus siglas en inglés) que está siendo implementado conjuntamente por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 18 países de la Región del Gran Caribe (WCR). Este proyecto innovador tiene como base la exitosa fase anterior llamada "El Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW)" (2011-2017). CReW+ está siendo ejecutado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de los Estados Americanos (OEA) y la Secretaría de la Convención de Cartagena (UCR/CAR) en nombre del BID y el PNUMA respectivamente.

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) ha proveído de \$22 millones en ayudas económicas y recursos financieros y ha movilizó cerca de \$120 billones en cofinanciamiento en más de 5,200 proyectos y programas. El GEF es

el fondo fiduciario más grande enfocado en permitir a países en desarrollo invertir en la naturaleza y apoya la implementación de convenios internacionales en biodiversidad, cambio climático, químicos y desertificación. Reúne 184 gobiernos, adicionalmente sociedad civil, organizaciones internacionales, sector privado y aliados.

Los objetivos específicos (y componentes) del proyecto son:

- 1) Fortalecimiento de la capacidad institucional a través de recomendaciones de políticas, regulación y creación de capacidad para la gestión integrada del agua y el saneamiento
- 2) Desarrollo de mecanismos de financiamiento innovadores y sostenibles para la gestión integrada del agua y las aguas residuales en zonas urbanas, periurbanas y rurales
- 3) Aplicación e implementación de "soluciones innovadoras a pequeña escala" para la gestión integrada del agua y las aguas residuales en comunidades rurales y periurbanas más pequeñas
- 4) Procesar, difundir e intercambiar conocimientos

## 3. Objetivos del proyecto

### 3.1. Objetivo general

Desarrollar un estudio de factibilidad y diseños preliminares para el manejo integral de las aguas residuales de La Fortuna de San Carlos, Alajuela.

### 3.2. Objetivos específicos

- Determinar la línea base con respecto a la situación de las aguas residuales en La Fortuna de San Carlos, incluyendo estudio de mercado completo, inventario de entes generadores, estimación de carga hidráulica y orgánica del proyecto, y proponer una serie de opciones tecnologías apropiadas de tratamiento y recolección.
- Elaborar una prefactibilidad de las obras, incluyendo evaluación ambiental, diseños preliminares de las alternativas propuestas, estudios de capacidad de pago, factibilidad económico y financiero, además de una evaluación multicriterio para la selección de la alterativa óptima.

- Finalizar los estudios de factibilidad, que incluye afinar los diseños a nivel de prediseño de la alternativa seleccionada, definir orden de ejecución de obras, afinar los estudios de factibilidad técnica, financiera, socioeconómica, ambientales y legales. Además, debe recopilar documentación requerida para las aprobaciones establecidas por las autoridades pertinentes.

### 3.3. Resultados o productos esperados

Tabla 1. Resultados esperados del estudio de factibilidad para el proyecto de saneamiento en La Fortuna de San Carlos, Alajuela.

Objetivo general	Objetivos específicos	Productos
<p>1. Desarrollar un estudio de factibilidad y diseños preliminares para el manejo integral de las aguas residuales de La Fortuna de San Carlos, Alajuela</p>	<p>1.1. Determinar la línea base con respecto a la situación de las aguas residuales en La Fortuna de San Carlos, incluyendo estudio de mercado completo, inventario de entes generadores, estimación de carga hidráulica y orgánica del proyecto, y proponer una serie de opciones tecnologías apropiadas de tratamiento y recolección.</p>	<p>1.1.1. Evaluación y diagnóstico de condiciones ambientales de la zona de estudio.            1.1.2. Estimación de caudal hidráulico para el diseño del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales.            1.1.3. Estudio de mercado.            1.1.4. Inventario de entes generadores dentro de la zona de estudio.            1.1.5. Estimación de la carga orgánica para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.            1.1.6. Análisis de opciones de tratamiento y recolección de las aguas residuales.</p>
	<p>1.2. Elaborar una prefactibilidad de las obras, incluyendo evaluación ambiental, diseños preliminares de las alternativas propuestas, estudios de capacidad de pago, factibilidad económico y financiero, además de una evaluación multicriterio para la selección de la alterativa óptima.</p>	<p>1.2.1. Evaluación ambiental de alternativas.            1.2.2. Diseños preliminares de las alternativas de Red de alcantarillado.            1.2.3. Diseños preliminares de las alternativas del Sistema de tratamiento            1.2.4. Estudios de factibilidad económica y financiera.            1.2.5. Estudios de factibilidad técnica, socioeconómica y legal.            1.2.6. Evaluación multi-criterio y participativa.</p>
	<p>1.3. Finalizar los estudios de factibilidad, que incluye afinar los diseños a nivel de prediseño de la alternativa seleccionada, definir orden de ejecución de obras, afinar los estudios de factibilidad técnica, financiera, socioeconómica, ambientales y legales. Además, debe recopilar documentación requerida para las aprobaciones establecidas por las autoridades pertinentes.</p>	<p>1.3.1. Diseño hidráulico, sanitario, electromecánico y estructural del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales.            1.3.2. Planos constructivos preliminares a nivel de anteproyecto.            1.3.3. Priorización de obras            1.3.4. Presupuesto.            1.3.5. Detallado de factibilidades técnica, económica, legal, ambiental.            1.3.6. Recopilación de documentación para permisos y TdR</p>

## 4. Diseño preliminar

### 4.1. Alcantarillado sanitario

#### 4.1.1. Explicación de las opciones de alcantarillado sanitario

En el Informe de la Etapa II de la presente contratación, se presentaron tres alternativas para la constitución del alcantarillado sanitario. Luego del análisis en conjunto con la ASADA, esta decidió que el diseño se hiciera con la Alternativa #1, que corresponde a un sistema de alcantarillado por gravedad.

Para hacer posible el recorrido por gravedad hasta la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), el prediseño contempla la colocación de colectores principales por el Río Burío y por la Quebrada Danta, con el fin de recolectar todos los barrios incluidos en la zona de estudio.

La propuesta inicial para estos colectores era la ubicación de estos en la zona de protección de los ríos y quebradas (15 metros, según la Ley Forestal), con el fin evitar la constitución de servidumbres en la mayoría del recorrido. Sin embargo, para poder utilizar esta franja de 15 metros, es necesario llevar a cabo el trámite de “Declaratoria de Interés Nacional” del proyecto, lo cual podría atrasar su ejecución.

Para prevenir cualquier atraso u obstáculo para conseguir dicha declaratoria, se solicitó por parte del contratante contar con una opción b para esta Alternativa #1, la cual se refiere a llevar la tubería por fuera de la zona de protección, constituyendo la servidumbre de las fincas que atravesarían los colectores. Para hacer esto posible, se rediseñaron algunos tramos, con el fin de evitar estas zonas.

Por lo anterior, en esta sección de Alcantarillado Sanitario, se presenta el diseño a nivel de anteproyecto de dos opciones muy similares entre sí, únicamente con la diferencia expuesta anteriormente. Por lo tanto, para efectos de resultados de los diseños, se presentarán dos cuadros para cada una.

Las opciones para la Alternativa #1: Sistema por gravedad, se denominan: Opción #1 “Zonas de Protección” y Opción #2 “Servidumbres”.

## 4.1.2. Dimensionamiento hidráulico, sanitario, estructural y electromecánico del alcantarillado sanitario

### Estimación de carga hidráulica y caudales

La estimación de los caudales generados por el proyecto se hizo siguiendo la metodología de la "Norma técnica para Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial" (AyA, 2017), en donde se indica que:

El caudal promedio de aguas residuales ordinarias se calcula con la expresión:

Donde  $FR$  es el factor de retorno (0,80) y  $Q_{pap}$  es el caudal promedio de agua potable, el cual se calcula con la expresión:

$$Q_{pap} = \frac{\text{Dotación} * \text{Población}}{86400}$$

La dotación se calcula a partir de los registros de consumo de la ASADA, mientras que la población de diseño se define en la sección 4.4.1.2 del informe de Etapa I de este estudio.

Luego, una vez estimado el caudal promedio de aguas residuales ordinarias, se calcula el caudal promedio de aguas residuales totales, mediante la expresión:

$$Q_{par} = Q_{paro} + Q_{pare} + Q_{ext}$$

Donde  $Q_{par}$  es el caudal promedio de aguas residuales,  $Q_{paro}$  es el caudal promedio de aguas residuales ordinarias,  $Q_{pare}$  es el caudal promedio de aguas residuales especiales y  $Q_{ext}$  es el caudal promedio de contribuciones externas de redes de alcantarillado sanitario adyacentes, ya sean existentes o futuras, que indique el Ente Operador, en este caso, la ASADA.

Por último, el caudal de diseño se divide en mínimo y máximo, según lo siguiente:

$$Q_{min} = FMD * Q_{par} + Q_{inf}$$

$$Q_{max} = FMH * Q_{par} + Q_{inf}$$

Donde  $FMD$  es el factor máximo diario (1,2),  $FMH$  es el factor máximo horario (1,8) y  $Q_{inf}$  es el caudal de infiltración de agua de lluvia, donde la normativa establece 0,25 l/s/km para tuberías de PVC o PEAD.

La estimación de los caudales se realizó a partir de los registros de medición de los usuarios de agua potable de la ASADA. Se tuvo acceso a la información desde enero del 2017 a mayo del 2021, tanto para los usuarios DOMIPRE (Domiciliar y Preferencial) como EMPREGO (Empresarial y Gobierno). Dicho cálculo se hizo incluyendo los datos del 2017 al 2019, desechando 2020 y 2021 debido al efecto de la disminución de consumo por la pandemia.

Una vez definida la ventana de tiempo para el cálculo, se procedió a calcular la dotación mes a mes para cada categoría y para cada sector del acueducto incluido en la zona de estudio, siguiendo el siguiente procedimiento:

$$CMS = \frac{\text{Consumo Total (m}^3\text{)}}{\# \text{ de servicios}}$$

$$Dot = \frac{CMS * 1000}{\# \text{ días} * FH}$$

Donde  $CMS$  es el consumo mensual por servicio,  $\# \text{ días}$  la cantidad de días del mes que corresponda y  $FH$  el factor de hacinamiento para el distrito Fortuna (3,52). El anterior es el cálculo de la dotación neta, es decir, la referida directamente al consumo de la población. Para este caso, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. Dotación neta de la zona de estudio

Sector	Dotación Dom. (l/p/d)				Dotación ND (l/p/d)				Dotación Total Neta (l/p/d)
	2017	2018	2019	Promedio	2017	2018	2019	Promedio	
PROMEDIO	350,7	314,4	311,8	325,6	322,5	312,3	331,5	322,1	605,7

Al valor anterior de dotación neta, se incluyó un porcentaje de 5% por submedición como agua no contabilizada (ANC), con lo cual se obtiene la dotación bruta del proyecto, por medio de la expresión:

$$Dot_{bruta} = \frac{Dot_{neta}}{1 - \%ANC}$$

Con lo anterior, se obtienen las dotaciones brutas para el proyecto:

Tabla 3. Dotación bruta de la zona de estudio

Sector	Dotación Domiciliar (l/p/d)				Dotación No Domiciliar (l/p/d)				Dotación Total Bruta (l/p/d)
	2017	2018	2019	Promedio	2017	2018	2019	Promedio	
PROMEDIO	369,1	330,9	328,2	342,7	339,5	328,7	348,9	339,1	637,6

La población estimada al año 2050 es de 23077 personas, por lo tanto:

$$Q_{pap} = \frac{\text{Dotación} * \text{Población}}{86400} = \frac{637,6 * 23077}{86400} = 170,3 \text{ l/s}$$

$$Q_{paro} = FR * Q_{pap} = 0,8 * 134,0 = 136,2 \text{ l/s}$$

No se esperan contribuciones externas ni aguas residuales especiales, por lo que estos valores se toman como 0 para el cálculo siguiente:

$$Q_{par} = Q_{paro} + Q_{pare} + Q_{ext} = 136,2 + 0 + 0 = 136,2 \text{ l/s}$$

Para el caudal de infiltración, se estimó un valor preliminar de 35 km de tubería. Finalmente, la estimación de caudal es de:

$$Q_{min} = FMD * Q_{par} + Q_{inf} = 1,2 * 136,2 + 8,75 = 172,2 \text{ l/s}$$

$$Q_{max} = FMH * Q_{par} + Q_{inf} = 1,8 * 136,2 + 8,75 = 254,0 \text{ l/s}$$

Por lo tanto, el caudal mínimo obtenido es el caudal máximo diario que puede darse durante cualquier día de la semana, mientras que el caudal máximo es el caudal pico horario que puede darse en alguna hora de máximo consumo en el acueducto.

Se realizó el cálculo del caudal por sector, lo cual facilita por un lado la estimación del caudal necesario para las estaciones de bombeo, y por otro lado, la necesidad de aumentar el diámetro de los colectores en el caso de las tuberías por gravedad.

Tabla 4. Caudal máximo de aguas residuales por sector

Sector	Dotación Total Bruta (l/p/d)	Usuarios	Población	Qparo (l/s)	Qmax (l/s)
FORTUNA-CENTRO	1541,3	373	3668	47,39	88,34
FORTUNA-DON BOSCO	493,2	89	875	3,62	6,75
FORTUNA-DOÑA DORA	320,7	72	708	1,90	3,55
FORTUNA-EL BURIO	566,2	61	600	2,85	5,31
FORTUNA-EL ESTADIO	372,3	62	610	1,90	3,55
FORTUNA-EL JARDIN	467,9	198	1947	7,64	14,24
FORTUNA-EL SEGURO	544,4	87	855	3,90	7,28
FORTUNA-LA IGUANA	746,8	17	167	1,05	1,95
FORTUNA-LA RIVERA	441,5	69	678	2,51	4,68
FORTUNA-LAS PALMAS	3407,2	49	482	13,76	25,65
FORTUNA-LLANURA CLARA	304,0	76	747	1,90	3,55
FORTUNA-LOS TANQUES	908,3	110	1082	8,24	15,35
FORTUNA-MANOLO	378,6	47	462	1,47	2,73
FORTUNA-OLIVOS	422,1	37	364	1,29	2,40
FORTUNA-PASTORAL	668,6	100	983	5,51	10,27
FORTUNA-RESID. EL BURIO	336,2	151	1485	4,18	7,80
FORTUNA-RESIDENCIAL MADERAL	332,6	69	678	1,89	3,53
FORTUNA-SINAI	517,3	114	1121	4,86	9,06
FORTUNA-SOL DEL NORTE	387,2	9	88	0,29	0,54
FORTUNA-URBA. EL ESTADIO	287,7	60	590	1,42	2,65
FORTUNA-URBA. FLORECILLAS	324,1	28	275	0,75	1,39
FORTUNA-URBA. VALLE DEL VOLCÁN	373,3	186	1829	5,72	10,67
Z-13-	522,5	283	2783	12,19	22,72
<b>Promedio / Total</b>	<b>637,6</b>	<b>2347</b>	<b>23077</b>	<b>136,23</b>	<b>253,97</b>

### Dimensionamiento hidráulico - sanitario

Para el sistema de recolección de las aguas residuales, se realizó según los requerimientos de la "Norma técnica para Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial" (AyA, 2017)

Para el diseño de las tuberías por gravedad se consideró el uso de tuberías de PVC. Para cada tramo se estimó el caudal máximo de aguas residuales y se asignó un primer diámetro estimado.

$$D = 39,37 * \frac{(0,0320836 * \eta * q)^{3/8}}{S^{3/16}}$$

Donde,

- D = Diámetro calculado (pulg)

- $\eta$  = n de Manning (0,011 - se utiliza este valor para aumentar la rugosidad de la tubería como factor de seguridad)
- q = Caudal calculado (l/s)
- S = pendiente de la tubería (m/m)

Se asignó el diámetro comercial inmediato al calculado y se calculó el caudal a tubo lleno (m/s) con la siguiente fórmula.

$$Q_{lleno} = \frac{AR^{2/3}\sqrt{S}}{\eta}$$

Donde,

- $Q_{lleno}$  = Caudal a tubo lleno (m<sup>3</sup>/s)
- A = Área de la tubería (m<sup>2</sup>)
- R = Radio hidráulico o D/4 (m)
- $\eta$  = n de Manning
- S = pendiente de la tubería (m/m)

La velocidad a tubo lleno no debe exceder los 5 m/s, y se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$V_{lleno} = \frac{R^{2/3} * \sqrt{S}}{\eta}$$

Además, se calculó la fuerza tractiva a tubo lleno con la siguiente fórmula.

$$T = \gamma_{agua} * \frac{(V\eta)^2}{R^{1/3}}$$

Para determinar la velocidad real, tirante hidráulico y fuerza tractiva real en la tubería se elaboró un modelo hidráulico en el programa SewerGEMS v10, el cual da el resultado del diámetro requerido, según los parámetros indicados en la sección 5.5 de la Norma de AyA, la cual indica que la velocidad no debe ser mayor a 5 m/s y la fuerza tractiva no debe ser menor a 0,1 Kg/m<sup>2</sup> y el tirante debe ser menor a 75% del total. Adicional a esto, el diámetro mínimo para este proyecto se estableció en 200 mm.

No se incluye memoria estructural, ya que se utilizan los detalles de pozos y estructuras del Anexo 10 de la Norma de AyA. La memoria electromecánica se incluye en la sección 4.1.4 del presente informe.

### 4.1.2.1. Opción 1: Zonas de Protección

Para esta opción, se obtuvieron los siguientes resultados en cantidad de pozos y tuberías de alcantarillado:

Tabla 5. Longitud de tuberías Opción #1

Diámetro (mm)	Longitud total (m)	Porcentaje (%)
200 mm	23 316,3	71,9
250 mm	2025,8	6,3
300 mm	3516,6	10,9
375 mm	2393,5	7,4
450 mm	1156,1	3,6
<b>Total</b>	<b>32 408,3</b>	<b>100,0</b>

Como se puede observar, el 72% de la red de recolección está compuesta por el diámetro mínimo de 200 mm. El total de pozos es de 396, de los cuales 304 tienen una profundidad menor a 3 metros, mientras que los restantes 92 sobrepasan esa profundidad, con un máximo de 7,03 metros. En la sección 18.1.1 del Anexo 1 se muestran los resultados por tramo de tubería.

### 4.1.2.2. Opción 2: Servidumbres

Para esta opción, se obtuvieron los siguientes resultados en cantidad de pozos y tuberías de alcantarillado:

Tabla 6. Longitud de tuberías Opción #2

Diámetro (mm)	Longitud total (m)	Porcentaje (%)
200 mm	17 848,0	58,0
250 mm	2217,0	7,2
300 mm	2588,3	8,4
375 mm	4913,7	16,0
450 mm	3215,9	10,4
<b>Total</b>	<b>30 782,9</b>	<b>100,0</b>

Como se puede observar, el 58% de la red de recolección está compuesta por el diámetro mínimo de 200 mm. El total de pozos es de 378, de los cuales 319 tienen una

profundidad menor a 3 metros, mientras que los restantes 59 sobrepasan esa profundidad, con un máximo de 7,64 metros. En la sección 18.1.2 del Anexo 1 se muestran los resultados por tramo de tubería.

### 4.1.3. Dimensionamiento hidráulico, sanitario, estructural y electromecánico de la estación de bombeo

#### 4.1.3.1. Cálculo del caudal de diseño

El primer dato que hay que tener en cuenta es el caudal necesario que se deberá impulsar en la estación. Para esto, se realizó una división del caudal para cada colector, según la dirección en la que escurre cada sector de acuerdo con la topografía y la configuración del sistema. Se puede observar que el colector que atraviesa el Río Burío concentra el 90% del caudal total que llega a la PTAR. En la siguiente tabla se muestra esta división.

Tabla 7. Caudal estimado por colector

Sector	Dotación Total Bruta (l/p/d)	% de usuarios en colector de Q. Danta	% de usuarios en colector de R. Burío	Caudal Q. Danta (L/s)	Caudal R. Burío (L/s)
FORTUNA-CENTRO	1541,3		1,00	0,00	88,34
FORTUNA-DON BOSCO	493,2	0,60	0,40	4,05	2,70
FORTUNA-DOÑA DORA	320,7		1,00	0,00	3,55
FORTUNA-EL BURIO	566,2		1,00	0,00	5,31
FORTUNA-EL ESTADIO	372,3		1,00	0,00	3,55
FORTUNA-EL JARDIN	467,9	0,20	0,80	2,85	11,39
FORTUNA-EL SEGURO	544,4		1,00	0,00	7,28
FORTUNA-LA IGUANA	746,8		1,00	0,00	1,95
FORTUNA-LA RIVERA	441,5	1,00		4,68	0,00
FORTUNA-LAS PALMAS	3407,2		1,00	0,00	25,65
FORTUNA-LLANURA CLARA	304,0		1,00	0,00	3,55
FORTUNA-LOS TANQUES	908,3		1,00	0,00	15,35
FORTUNA-MANOLO	378,6		1,00	0,00	2,73
FORTUNA-OLIVOS	422,1		1,00	0,00	2,40
FORTUNA-PASTORAL	668,6		1,00	0,00	10,27
FORTUNA-RESID. EL BURIO	336,2		1,00	0,00	7,80
FORTUNA-RESIDENCIAL MADERAL	332,6	1,00		3,53	0,00
FORTUNA-SINAI	517,3	1,00		9,06	0,00
FORTUNA-SOL DEL NORTE	387,2	1,00		0,54	0,00
FORTUNA-URBA. EL ESTADIO	287,7		1,00	0,00	2,65

Sector	Dotación Total Bruta (l/p/d)	% de usuarios en colector de Q. Danta	% de usuarios en colector de R. Burío	Caudal Q. Danta (L/s)	Caudal R. Burío (L/s)
FORTUNA-URBA. FLORECILLAS	324,1		1,00	0,00	1,39
FORTUNA-URBA. VALLE DEL VOLCÁN	373,3		1,00	0,00	10,67
Z-13	522,5		1,00	0,00	22,72
<b>Promedio / Total</b>	<b>637,6</b>			<b>24,70</b>	<b>229,27</b>

Con la información anterior, se determina que el caudal de la estación de bombeo que conecta el colector Burío hacia el colector Danta es de 229 l/s. Con esta información, es posible realizar el diseño del diámetro y material de la tubería de impulsión, así como la potencia requerida para los equipos de bombeo.

#### 4.1.3.2. Dimensionamiento hidráulico - sanitario y electromecánico

En el caso de la estación de bombeo, se lleva a cabo en conjunto el dimensionamiento electromecánico, que se refiere al equipo de bombeo necesario para impulsar las aguas residuales, así como el hidráulico para el dimensionamiento de las tuberías que transportan esta agua.

El agua será impulsada de la estación de bombeo hasta un pozo de cambio de régimen ubicado en la parte más alta del recorrido. Posterior a esto, se continúa con el resto de los tramos por gravedad, hasta conectarse con el colector de la quebrada Danta y, de ahí, hasta el ingreso a la PTAR. Como datos iniciales para el diseño se tienen los siguientes:

Elevación de la EB (msnm)	161,60
Nivel mínimo del agua en la EB (m)	3,75
Elevación mínima de la estación de bombeo (msnm)	157,85
Elevación del pozo (msnm)	166,94
Profundidad de entrada al pozo (m)	1,50
Elevación de entrada de tubería al pozo (msnm)	165,44
Longitud de tubería impulsión (m)	288,50
Tubería de impulsión	PEAD DR-11 400 mm
Diámetro interno impulsión (mm)	328,07

Tubería de cachera	Acero ASTM A120 200 mm
Diámetro interno cachera (mm)	190,5
Caudal final total (l/s)	229,27
Número de bombas	4 instaladas, 3 operando

La carga dinámica total se expresa de la siguiente manera:

$$CDT = H + h_f$$

Donde:

$H$  = diferencia de elevación entre el nivel mínimo de agua en la EB y el nivel de entrada de la tubería al pozo.

$h_f$  = pérdidas por fricción en tubería de columna, válvulas y accesorios de descarga (cachera) y tubería de impulsión (m.c.a.)

Por lo tanto,

$$H = 165,44 - 157,85 = 7,59 \text{ m}$$

Los cálculos correspondientes de pérdida de carga, o pérdidas por fricción, se realizan mediante la ecuación de Hazen Williams:

$$h_f = \frac{1733 * L * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}}$$

Además,

- $h_f$  = pérdidas por fricción en el tramo evaluado (m.c.a)
- $S_f$  = pérdidas por fricción en metros por m de tubería (m/m)
- $h_{fT}$  = pérdidas por fricción total (m.c.a.)
- $L$  = longitud de la tubería (m)
- $L_{eq}$  = longitud de tubería equivalente por accesorios (m)
- $Q$  = caudal (l/s)
- $C$  = constante para el material de la tubería ( $C = 130$  para PEAD y  $C = 100$  para acero).
- $d$  = diámetro interior del tubo (pulg, 1 pulg = 25,4 mm)

De acuerdo con lo anterior se calculó el  $h_{fT}$  según se indica en la Tabla 8.

Tabla 8. Cálculo de las pérdidas de energía

Tramo	L (m)	L <sub>eq</sub> (m)	L total	Q (l/s)	C	d (")	S <sub>r</sub> (m/m)	h <sub>f</sub> (m)	h <sub>fT</sub> (m)
Impulsión PEAD DR-11 400mm	288,5	10	298,5	229,27	130	12,9	0,0199	5,74	
Cachera Acero 200 mm	15	25	40	76,42	100	7,5	0,1538	2,31	8,18
Check y válvula				76,42		24,0		0,13	

La pérdida de carga en el check y la válvula de la cachera son dadas por el fabricante de estos. Por lo tanto, la CDT es:

$$CDT = H + h_f = 7,59 + 8,18 = 15,77 \text{ mca}$$

La potencia consumida, en HP, se calcula con la expresión siguiente:

$$Potencia (HP) = \frac{Q * CDT}{75 * N}$$

Donde,

- Q = caudal en l/s
- CDT = carga dinámica total en m.c.a.
- N = eficiencia de la bomba / 100

$$Potencia (HP) = \frac{76,42 * 15,77}{75 * 82\%} = 19,59 \text{ HP}$$

El cálculo del golpe de ariete se determina con la expresión siguiente:

$$h_a = \frac{v * c}{g}$$

Donde,

- $h_a$  = sobrepresión por golpe de ariete (m.c.a)
- v = velocidad del agua en la tubería (m/s)
- c = celeridad de la onda en la tubería (m/s)
- g = fuerza de gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

La velocidad se obtiene mediante la expresión:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde,

- Q = caudal (l/s)
- A = área interna del tubo (m<sup>2</sup>)

Y la celeridad mediante la expresión:

$$c = \frac{9900}{\sqrt{\left(48,3 + k * \frac{d_i}{e}\right)}}$$

Donde,

- k = factor del módulo de elasticidad de la tubería, donde:

$$k = \frac{10^{10}}{E} = \frac{10^{10}}{4 \times 10^8} = 25$$

- E = módulo de elasticidad de la tubería, igual a 4x10<sup>8</sup> kg/m<sup>2</sup> de acuerdo con el fabricante.
- d<sub>i</sub> = diámetro interno del tubo (m)
- e = espesor de la pared de la tubería

De acuerdo con la información del fabricante de la tubería PEAD DR-11, la celeridad de la misma es **325,9 m/s**.

La carga total por golpe de ariete incluye la sobrepresión por golpe de ariete y la carga estática considerada para el análisis. Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$H_T = h_a + H$$

Donde,

- H<sub>T</sub> = carga total por golpe de ariete (m.c.a.)
- H = carga estática (m.c.a.) **(en este caso se considera la elevación hasta la válvula check que está a nivel de terreno de la EB).**
- P<sub>TT</sub> = presión soportada por la tubería

Tabla 9. Cálculo del golpe de ariete para la tubería de impulsión

Material / cédula tubo	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	v (m/s)	d <sub>i</sub> (m)	e (mm)	c (m/s)	h <sub>a</sub> (m.c.a)	H (m)	H <sub>T</sub> (m.c.a)	P <sub>TT</sub> (m)
PEAD DR-11	229,27	0,0845	2,71	0,328	36	325,9	90,03	3,84	93,87	112

De acuerdo con lo indicado en la tabla anterior, la presión total de golpe de ariete ( $H_T$ ) es menor que la presión de trabajo de la tubería ( $P_{TT}$ ), por lo que la tubería propuesta soporta el golpe de ariete.

#### 4.1.4. Especificaciones técnicas

Se recomienda seguir las indicaciones de las especificaciones técnicas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2019), en su documento de Descripción del proyecto y especificaciones técnicas particulares del proyecto de Construcción y mejoras de colectores y subcolectores en las cuencas Rivera, Torres, María Aguilar y Tiribí. En esta sección se indican algunas de ellas, así como otras recomendaciones de otras referencias bibliográficas, sin embargo, esto no limita a que se amplíen en el documento elaborado por el AyA, y según las recomendación del diseñador final del alcantarillado sanitario.

##### 4.1.4.1. Tuberías de alcantarillado

Las tuberías para el alcantarillado sanitario se proponen en PVC y deben cumplir con la norma INTE 16-10-07 (correspondencia a ASTM F949). Como alternativa, también se puede considerar el uso de tuberías de PEAD que cumplan con la norma INTE 16-05-07 (equivalente a ASTM F2947).

#### Preparación de la zanja

Un adecuado procedimiento de instalación, así como la preparación de la zanja son esenciales para obtener un exitoso comportamiento de las tuberías de alcantarillado. La preparación de la zanja no difiere sustancialmente de los procedimientos usados para instalar otros tipos de tubería. No se debe tener más zanja abierta que la necesaria para instalar tubería en ese día. La tubería debe ser colocada cerca de la zanja excavada, en el lado opuesto a la tierra extraída (modificado parcialmente de Pavco Wavin, 2020).

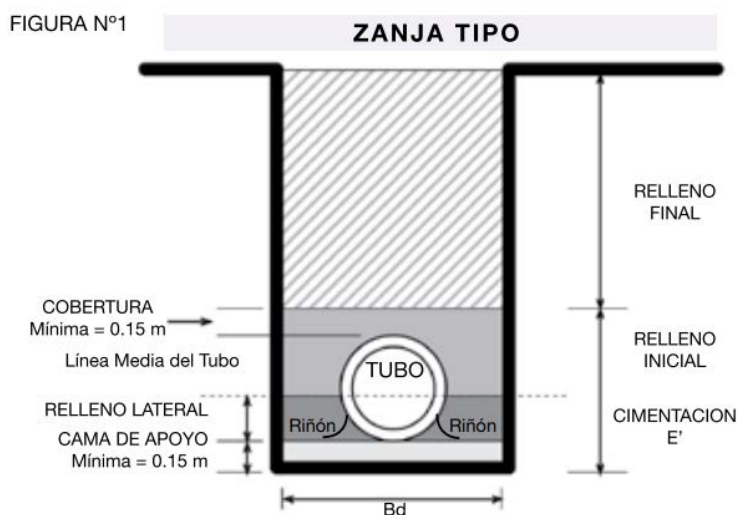


Figura 1. Zanja para tubería (Pavco Wavin, 2020)

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2019), en su documento de Descripción del proyecto y especificaciones técnicas particulares del proyecto de Construcción y mejoras de colectores y subcolectores en las cuencas Rivera, Torres, María Aguilar y Tiribí, hace la indicación de 3 tipos de excavaciones:

- Excavación convencional: excavación en un material con o sin presencia de bloques, donde no será necesario disgregar la roca mediante el uso de barrenos y explosivos, barrenos y mortero expansivo demoleador, o bien el empleo de martillos hidráulicos.
- Excavación en roca: para materiales de tal dureza que, para su excavación mecanizada a cielo abierto, es requerido el uso de barrenos y explosivos, mortero expansivo demoleador o bien el empleo de martillos hidráulicos. También se pueden emplear ripeadores con vibración (vibro Ripper).
- Excavación en material combinado: toda aquella excavación que se realice en materiales blandos y sueltos, suelos poco o nada cementados, o rocas blandas, pero que contiene bloques de roca con partículas mayores a 76 cm (30") que, por el tamaño de los bloques, o su posición en relación con la zanja, se deben romper los bloques grandes mediante el uso barrenos y explosivos o de mortero expansivo demoleador, o bien el empleo de martillos hidráulicos

Se recomienda seguir las especificaciones técnicas que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2019), según el tipo de excavación que se requiera realizar.

## Excavación

Tanto la excavación de la zanja como el relleno deben hacerse de acuerdo con la Norma ASTM D 2321, así como cumpliendo con el Decreto Ejecutivo N°40790 MTSS: Reglamento General de Seguridad en las Construcciones. La zanja debe ser lo suficientemente ancha para permitir a un hombre trabajar en condiciones de seguridad y adecuada alineación y ensamble de las campanas y/o uniones de las tuberías. El ancho mínimo será el diámetro exterior más 0,30 m y el medio, el diámetro exterior más 0,40 m. Si se requiere ampliar el ancho de la zanja debe hacerse por encima del lomo de la tubería (modificado parcialmente de Pavco Wavin, 2020). (Figura 2)

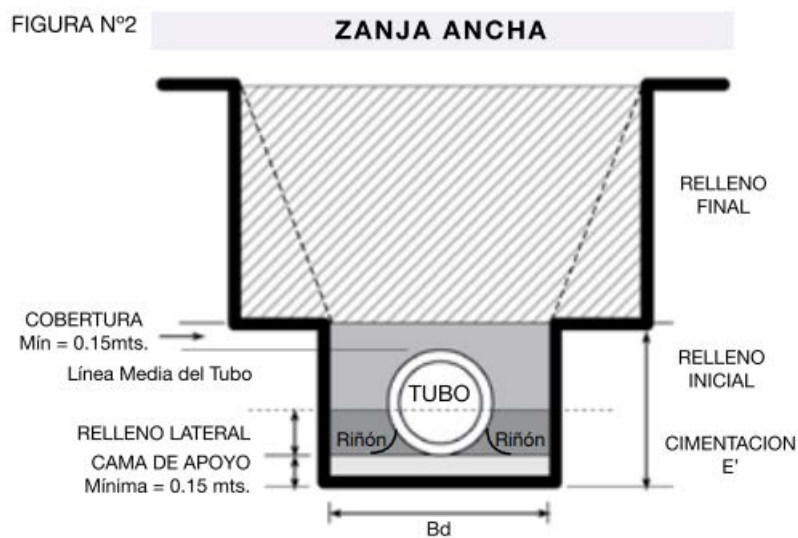


Figura 2. Detalle de ancho de zanja (Pavco Wavin, 2020)

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	Ancho de la Zanja Bd - m	
		Mínimo m	Medio m
mm - Pulg	mm		
110	110	0.45	0.50
160	160	0.45	0.60
200	200	0.50	0.60
250	250	0.55	0.65
315	315	0.60	0.70
355	355	0.65	0.75
400	400	0.70	0.80
450	450	0.75	0.85
500	500	0.80	0.90
24"		1.00	1.10
27"	730	1.10	1.20
30"	813	1.15	1.25
33"	898	1.20	1.30
36"	980	1.30	1.40
39"	1065	1.40	1.50
42"	1149	1.45	1.55

El documento de Descripción del proyecto y especificaciones técnicas particulares del proyecto de Construcción y mejoras de colectores y subcolectores en las cuencas Rivera, Torres, María Aguilar y Tiribí, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, del año 2019, indica que para profundidades menores a 1,5 m debe de mantenerse un ancho mínimo libre de 30 cm a cada lado de la tubería, lo cual coincide con la indicación de la referencia de Pavco Wavin (2020). Además, cumplir con lo establecido en el Reglamento de Seguridad en Construcciones (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2019).

A criterio del ingeniero-diseñador se definirá la protección requerida en las paredes de la zanja (entibado) y estabilización del fondo, pero deberá preverse la ubicación del entibado de tal forma que permita el encamado y relleno adecuado en la zona de la tubería (Pavco Wavin, 2020).

Cuando hay agua sobre el fondo de la zanja, ésta debe evacuarse para mantener la zanja seca hasta que la tubería sea instalada y rellena al menos una altura equivalente a un diámetro sobre la clave de la tubería para evitar flotación (Pavco Wavin, 2020).

Cuando se instale material granular como subdren bajo la tubería éste debe ser gradado y protegido con geotextil no tejido de tal forma que se evite la migración de los finos del material de cimentación de la tubería. La profundidad de la zanja deberá ser determinada por el ingeniero-diseñador teniendo en cuenta requerimientos de fundación, encamado, cimentación, tipo de suelo, diámetro de la tubería y recubrimiento de ésta (Pavco Wavin, 2020).

Con especiales condiciones de diseño, 0,40 m de recubrimiento mínimo sobre el lomo del Tubo, puede ser adecuado, sin embargo 0,90 m es recomendable cuando se tiene carga viva sobre la superficie (Pavco Wavin, 2020).

### **Uso de ademe.**

Se aplicará ademe en profundidades menores a lo indicado en el Reglamento de Seguridad en Construcción cuando la estabilidad de las paredes de la zanja lo requiera, y a requerimiento del Ingeniero cuando haya condiciones que lo justifiquen. El diseño de los ademes es responsabilidad del Contratista.

El ademe deberá ser diseñado e instalado de manera que no interfiera con el proceso de compactación del encamado y el primer relleno de las tuberías. Este deberá cumplir con la función de lograr la estabilidad de las paredes de la zanja para garantizar la seguridad de los trabajadores y afectaciones a terceros. Además con las especificaciones técnicas indicadas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2019).

### **Encamado**

El fondo de la zanja debe nivelarse de tal forma que se garantice la pendiente del diseño, así como para que la tubería quede apoyada y debidamente soportada en toda su longitud. Deben retirarse rocas y material punzante que puedan afectar la tubería. Debe proveerse acomodación para las campanas y/o uniones que faciliten el ensamble, mientras se mantiene el soporte adecuado a la tubería. Una altura de 0,15 m de encamado es suficiente (Pavco Wavin, 2020).

### **Cimentación**

Es el factor más importante en el comportamiento y deflexión de la tubería. El material debe ser colocado y compactado hasta la mitad del diámetro para proveer adecuado soporte lateral y evitar desplazamiento lateral y vertical de la tubería (Pavco Wavin, 2020).

Cuando se use material granular en el encamado, ese mismo material debe usarse en el relleno lateral, teniendo precaución de evitar la migración de finos hacia éste. El material debe ser colocado en capas de 0,15 a 0,20 m compactadas de acuerdo con la especificación de diseño alternadamente en cada lado de la tubería (Pavco Wavin, 2020).

El relleno en la parte baja de la tubería debe hacerse con pisón de mano, el resto puede

ser con pisón mecánico, pero teniendo cuidado de no tocar la tubería. Debe verificarse el grado de compactación de acuerdo con el diseño (Pavco Wavin, 2020).

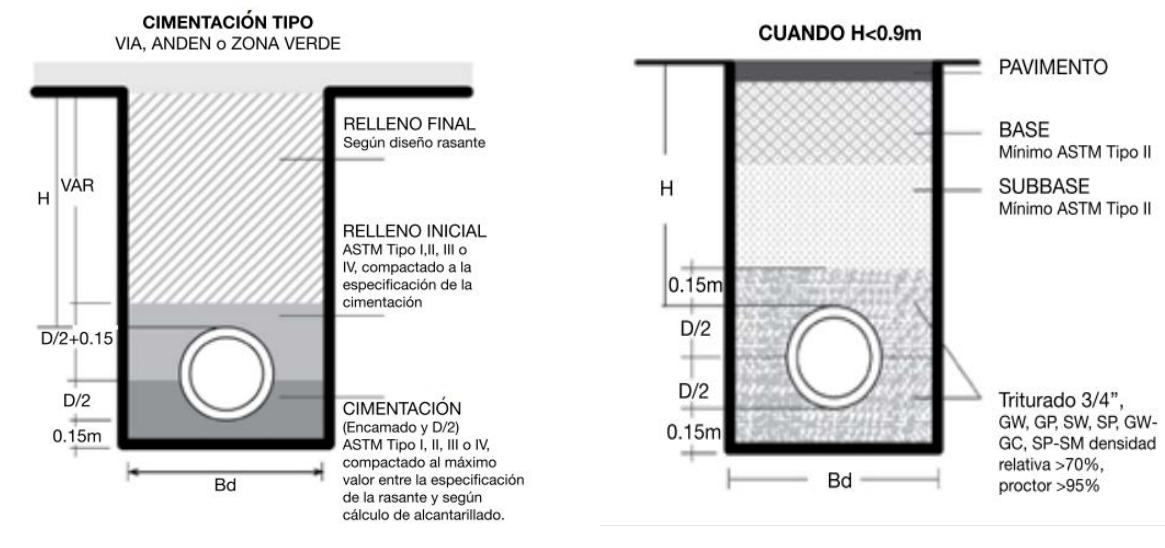


Figura 3. Tipo de cimentación de la zanja (Pavco Wavin, 2020)

### **Relleño Inicial**

Es la parte del relleno desde la mitad del diámetro del tubo hasta 0,15 m sobre el lomo del tubo. Puede usarse un material diferente del usado para el encamado y la cimentación, pero debe seleccionarse adecuadamente de tal forma que proteja la tubería y esté adecuadamente especificado para el uso final de la superficie (Pavco Wavin, 2020).

Para profundidades menores a 0,90 m se recomienda usar material Clase I o Clase II compactado a más del 95% del proctor y densidad relativa mayor al 70%, encamado, cimentación y relleno inicial y final hasta la rasante cuando hay carga viva presente (Pavco Wavin, 2020).

### **Relleño Final**

Debe ser seleccionado de acuerdo con el requerimiento del uso que se le vaya a dar a la superficie final; vías, zonas verdes, etc. Nota: Sí el material nativo es de buena calidad puede usarse como cimentación y relleno inicial - mínimo ML - CL (Pavco Wavin, 2020).

### **Ensamble de la campana o unión**

Limpie con un trapo limpio y seco la parte interior de la campana y/o unión y el caucho. Haga lo mismo con la parte exterior del tubo a ser insertada. Aplique lubricante generosamente en la campana y/o unión y en el caucho (Pavco Wavin, 2020).

- Alinee la campana y/o unión con el tubo e introdúzcalo. Se recomienda usar un bloque de madera que proteja el extremo del tubo del impacto del equipo de empuje.
- Aplique presión de empuje constante, hasta que el tubo se deslice suavemente dentro de la campana y/o unión hasta el tope indicado.

Para diámetros mayores a 36" el empuje debe hacerse primero en la parte baja del diámetro del tubo e ir subiendo paulatinamente. Esto facilita el proceso evitando el desalineamiento de la tubería (Pavco Wavin, 2020).

- Si encuentra una resistencia indebida a la inserción, debe desensamblar y revisar los elementos, cambiarlos si es necesario y reiniciar el proceso de ensamble.

### **Conexión a Pozos**

Es importante tener en cuenta que estas conexiones deben garantizar la hermeticidad y conservar las condiciones de flexibilidad de la tubería. Teniendo en cuenta que el PVC no se adhiere al concreto y asegurando que aún en la zona de empalme con la cámara, la tubería puede deflactarse de acuerdo con lo previsto en el diseño, se recomienda:

- Coloque el caucho a partir del último valle completo de la tubería teniendo en cuenta que la parte de mayor chaflán vaya colocada hacia el extremo.
- Introduzca la tubería en la cámara de inspección, verificando que el caucho quede a la mitad del muro.
- Aplique mortero y emboquille.

### **Notas Importantes sobre la instalación**

Cambios de Dirección: En los sistemas de alcantarillado los cambios de dirección se realizan en general mediante cajas o pozos de inspección. Cuando se instala la espiga dentro de la campana, no se deben producir tensiones sobre ésta, por lo tanto, la deflexión debe ser de 0 grados, así la campana podrá absorber de forma natural las deflexiones provocadas por los asentamientos del terreno y por movimientos sísmicos.

La deflexión en la campana debe ser de 0 grados en colectores y conexiones domiciliarias. Cuando se requieran cambios de dirección menores de 6 grados en las conexiones domiciliarias, éstos se pueden lograr aplicando flexión sobre el tubo y aislando la campana. La deflexión considerada es con respecto al eje del tubo (Pavco Wavin, 2020).

Condiciones de Suelo Inestable: Si el suelo natural es de muy mala calidad y el fondo de la zanja no es estable y no permite garantizar la estabilidad de la tubería, deben diseñarse sistemas de estabilización que garanticen la sostenibilidad del sistema. Debe consultarse la opinión de un especialista en suelos y diseñar las estructuras adecuadas para la estabilización del fondo de apoyo de la tubería (Pavco Wavin, 2020).

Presencia de Nivel Freático: Cuando hay nivel freático presente, el encamado y al menos hasta 1/2Dext (o hasta la altura del nivel freático), debe usarse material granular, Clase I o II, con el grado de densidad relativa que exija el diseño y envuelto en geotextil no tejido (Pavco Wavin, 2020).

Instalación Superficial con Carga Viva Presente: Cuando la profundidad de instalación es menor a 0,90m a la clave, debe usarse para el encamado, alrededor de la tubería y hasta la rasante de la carpeta de la vía, material granular, clase I o II, con densidad relativa mayor al 70%. La profundidad mínima de instalación es de 0,40m de la clave de la tubería a la rasante (Pavco Wavin, 2020).

Instalación en Pendientes Altas: Debe instalarse cimentación con material granular e instalar un dado de contención en cada unión como se indica en la Figura 4. Se habla de pendientes altas para pendientes mayores al 15% pero debe ser definida por el consultor de acuerdo con las condiciones específicas de cada proyecto (Pavco Wavin, 2020).

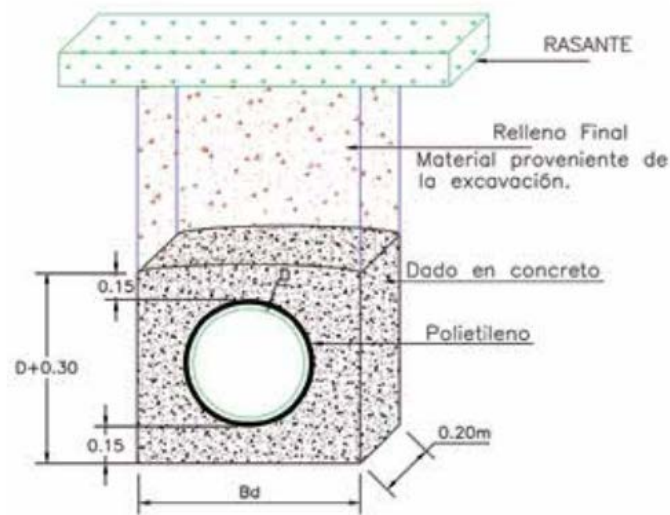


Figura 4. Dado de contención (Pavco Wavin, 2020)

### **Inspecciones y Pruebas de Campo para la Puesta en Servicio**

El ingeniero a cargo debe definir las inspecciones y pruebas a realizarse al sistema después de instalado. Algunas de las inspecciones recomendables se describen a continuación:

- Limpieza
- Inspección Visual
- Verificación de alineamientos y ausencia de obstrucción
- Prueba de Estanqueidad 1
- Pruebas de presión
- Pruebas de desviación
- Pruebas de hermeticidad
- Lavado y limpieza
- Pruebas con cámara

Puede hacerse prueba con aire a baja presión, prueba de infiltración o exfiltración. Es recomendable, efectuar la prueba con aire a baja presión de acuerdo con la norma ASTM F 1417. La prueba de infiltración es aceptable siempre que el nivel freático esté por encima del lomo de la tubería a probar. La prueba de exfiltración es aceptable siempre que el nivel freático esté por debajo del nivel de instalación de la tubería a ser probada (Pavco Wavin, 2020).

Diámetro Nominal	Diámetro Interior	Longitud Tramo	Tiempo de Prueba	Volumen Permitido	Volumen Permitido por Diámetro	Total Volumen Permitido
mm	mm	m	hr	l/mm/m/hr	l/m/hr	l
110	99	100	4	0.00019	0.019	8
160	145	100	4	0.00019	0.028	11
200	182	100	4	0.00019	0.035	14
250	227	100	4	0.00019	0.044	17
315	284	100	4	0.00019	0.054	22
400	362	100	4	0.00019	0.069	28
450	407	100	4	0.00019	0.078	31
500	452	100	4	0.00019	0.087	35

#### 4.1.4.2. Estación de bombeo

##### ESPECIFICACIONES DE VÁLVULA DE RETENCIÓN

Válvula de retención tipo swing flex, modelo 500 A marca Valmatic, similar o superior de 0,305 m (12 plg)  $\varnothing$  de diámetro, extremos bridados.

- Condiciones de operación
  - Fluido a manejar: Agua residual
  - Temperatura de operación: Ambiente
  - Presión de operación: 1,78 bar (18,2 mca)
  - Caudal de operación: 0,080 m<sup>3</sup>/s (80,20 l/s)
  - Aplicación: Descarga de bomba
  - Clase: 125
- Metalurgia
  - Cuerpo y cubierta: Hierro ASTM A 126B
  - Disco: Buna N con refuerzo en acero y nylon
  - Tornillos: SAE grado 5
- Prueba hidrostática: La válvula completa deberá probarse hidrostáticamente, con agua fría de acuerdo con las recomendaciones de la Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas (por sus siglas en inglés AWWA) C508 a una presión de 21 kg/cm<sup>2</sup> (210 mca)(300 lb/pulg<sup>2</sup>)
- Prueba de sello: Con la válvula conectada y el disco cerrado, se aplicará una presión de 14 kg/cm<sup>2</sup> (140 mca)(200 lb/pulg<sup>2</sup>) aguas abajo de válvula permaneciendo a presión atmosférica la entrada, tolerándose fugas máximo de 0,186 cm<sup>3</sup>/min/cm (0,4736 cm<sup>3</sup>/min/pulg).

## ESPECIFICACIONES DE BOMBA TIPO SUMERGIBLE

Bomba centrífuga vertical tipo sumergible inatascable, para instalarse en cárcamo de bombeo, descarga en interior de cárcamo, con acoplamiento directo a motor eléctrico vertical tipo sumergible, incluye caja de conexiones en acero inoxidable AISI 316, para la transición del cable sumergible y cables de control al cable THW, así como los elementos de control de las variables principales del motor eléctrico, que actúan como protección del mismo. La bomba deberá ser capaz de manejar sin atascamientos agua residual, con materias fibrosas, sólidos en suspensión, arenillas, las cuales deben ser bombeadas sin tener algún detrimento en las características de funcionamiento del equipo de bombeo, con las siguientes características:

- Condiciones de operación
  - Líquido a manejar: Agua residual cruda doméstica séptica o agua combinada, temperatura máxima 40° C, con arrastre de elementos fibrosos largos, plásticos, palos, arena sílica, etc., observando desprendimiento en la succión de la bomba de gases producto de degradación de materia orgánica contenida en el fluido.
  - Caudal de diseño: 0,080 m<sup>3</sup>/s (80,2 l/s)
  - Carga dinámica total: 1,83 bar (18,7 mca)
  - Velocidad angular: 1755 min<sup>-1</sup> (rpm)
  - Eficiencia mínima para el punto de diseño: 79,2%
  - Diámetro de la descarga: 150 mm (5 7/8 plg)Ø
  - Tipo de impulso: Abierto, Inatascable
  - Enfriamiento motor: Chaqueta de enfriamiento incluida
  - Potencia del motor: 30 hp
  - Voltaje del motor: 460 V
  - Frecuencia: 60 Hz
  - Factor de Potencia 1/1; ¾; ½ carga 0,87 / 0,83 / 0,73
  - Eficiencia 1/1; ¾; ½ carga 89,0 / 90,0 / 90,5%
  
- Normas generales de construcción

La bomba deberá ser apropiada para instalarse sumergida y estará constituida por un eje directamente acoplado a un motor seco, con chaqueta de enfriamiento, tipo jaula de ardilla, trifásico contenido en una carcasa herméticamente sellada y llena de aire, con aislamiento clase F. La descarga de la bomba será en el interior del cárcamo.

El diseño exterior de las bombas debe ser tal que se facilite el poder darle mantenimiento. Las bombas deben ser fáciles de limpiar en su parte exterior.

La bomba deberá ser capaz de manejar sin atascamientos agua residual, cruda doméstica séptica o agua combinada, temperatura máxima 40°C, con arrastre de elementos fibrosos largos, plásticos, palos, arena sílica, etc., observando desprendimiento en la succión de la bomba de gases producto de degradación de materia orgánica contenida en el fluido.

El alcance de esta especificación abarca diseño, manufactura, pruebas de comportamiento funcional en fábrica, transporte, manejo local, instalación, pruebas operativas en campo con carácter definitorio, prueba de trabajo continuo por 72 horas y puesta en servicio del equipo, contemplando protecciones propias con alto índice de continuidad de servicio, mostrando carácter de producto de línea, equipo de primer uso.

Las características técnico-operativas de los equipos deberán cumplir a cabalidad los requerimientos estipulados en este documento, considerando las propiedades del fluido a manejar y cualquier particularidad geométrica-hidráulica del cárcamo de succión.

Dentro del alcance, el contratista probará en fábrica el equipo de bombeo, de acuerdo con los lineamientos expresados en estas especificaciones.

- Carcasa de la bomba

De hierro fundido, grano fino, ASTM A 48 clase 30, debiendo tener un maquinado que asegure un alineamiento perfecto. Las volutas de las bombas están fabricadas de una única pieza de hierro fundido con superficies planas, lisas, no concéntricas, diseñadas para permitir el paso suficiente de cualquier sólido de cualquier tamaño que deba de ser aspirado por el impulsor. La voluta tiene una brida mecanizada y se suministra con una brida ciega, correctamente posicionada para conectar una válvula de limpieza.

- Impulsor

De hierro fundido ASTM A 48-30, balanceado estáticamente, para asegurar una operación libre de vibraciones, que provoquen desgaste prematuro en el equipo.

Los impulsores son semiabiertos no atascables. Los álabes del impulsor son limpiados por ellos mismos en cada rotación, a través de una ranura de alivio localizada en el

caracol de la bomba o en un anillo de inserción en el caracol y mantienen los álabes limpios de restos, manteniendo el bombeo libre de desechos o sólidos que puedan obstruir la aspiración. Los impulsores están acoplados al eje perfectamente y pueden ser fácilmente apretados y desacoplados. El espacio libre entre el caracol de la bomba, el anillo de inserción y el impulsor deben ser ajustables.

El perfil de ataque de los álabes de la bomba debe estar endurecidos a 45 HRC con un grosor de 4 mm de profundidad de dicha dureza, así como el anillo de desgaste debe tener el mismo tratamiento.

- Sellos mecánicos

La bomba tendrá dos sellos mecánicos, uno en la parte inferior de carburo de tungsteno y el otro de carbón-cerámica.

- Codo de descarga y soporte

El codo será de hierro fundido ASTM 48-30, libre de poros, tipo silleta con una brida en un extremo para una presión de trabajo de 10,5 kg/cm<sup>2</sup> y rigidez adecuada para recibir el grupo motor bomba, sumergible.

- Flecha de impulsores

El eje de bomba es una extensión del eje motor. Cualquier tipo de acoplamiento no es aceptado. El material del eje es de acero inoxidable tipo 431. El uso de fundas o casquillos de acero inoxidable no se acepta.

- Sistema de izado por guías / Accesorios de instalación

Las bombas serán automáticamente conectadas a la conexión de descarga, guiadas por no menos de dos tubos-guías conectados desde el fondo de la estación de bombeo en la conexión de descarga. De esta manera no habrá necesidad de personal dentro del pozo.

- Sello mecánico

Cada bomba posee un sistema de juntas mecánicas consistente en dos juntas independientes pero ensambladas entre sí perfectamente. Las juntas trabajan con el líquido circundante que las lubrica y refrigera. Las juntas mecánicas contienen una estacionaria y otra rotatoria. Cada superficie de junta está en contacto por su propio sistema de resorte. Las juntas no requieren mantenimiento o ajustes ni cambio en la direccionalidad de la rotación. La cavitación que se pueda producir en la junta exterior está reducida al sistema patentado Spin-out que reduce su desgaste considerablemente al remover las partículas que pueden entrar en contacto.

- Junta de entrada de cable

La junta de entrada de cable está diseñada según los requerimientos de par de torsión del motor para asegurar una junta sumergible y evitar la entrada de agua herméticamente. El cable de entrada consiste en una pieza cilíndrica de elastómeros similar a una arandela, apretada por arandelas, todas ellas teniendo una tolerancia cero al diámetro del cable y a la entrada interna del cable y a la compresión producida por el cuerpo, pero conteniendo una función de tensión de alivio, separada de la función principal de la junta de la entrada de cable. El ensamblaje permite fácilmente cambiar el cable. La unión de la entrada de cable y el motor están separados por una caja de conexiones, la cual aísla el interior de elementos extraños que puedan entrar por la parte superior de la bomba. Pintura Epoxi, siliconas, barnices u otros sistemas de sellado secundarios no son aceptables.

- Roles

Motores deben de ser suministrados con un soporte de roles de al menos doble hilera de roles de bolas.

- Rol principal

El rol principal consiste en una hilera doble de roles de bolas. Ambos, soporte y rodamiento principal están sellados con dos placas de metal (suffix "2Z") y se entregan engrasados y listos para su uso. Está diseñado para una larga duración de no menos de 50000 horas de trabajo.

- Motor

El motor de la bomba es un motor inductor en jaula de ardilla, diseñado como un armazón, relleno al aire en un molde, en una cámara hermética. El rebobinado del estator y los conductores están aislados con resistencia a la humedad Clase H hasta una temperatura 180°C. El estator está impregnado de barniz de Clase H y está fijado dentro del alojamiento del estator a través de su calentamiento. El motor está diseñado para trabajar en continuo en líquidos bombeados con una temperatura de hasta 40°C y una capacidad máxima de hasta 30 arranques espaciados uniformemente durante una hora. Los termocontactos se abren a los 140°C y son insertados en los conductores del estator para monitorizar la temperatura de cada fase del bobinado. Estos termocontactos son usados en conjunto y una protección extra de sobrecarga y serán conectados al cuadro eléctrico.

El motor y la bomba están diseñados y ensamblados por el mismo fabricante y bajo la misma marca. El motor tiene una tolerancia en el voltaje de más/menos el 10% cuando la temperatura media del bombeo es menor a 40°C. El motor está diseñado para trabajar en ambientes superiores a 40°C con una temperatura que no exceda 85°C. La hoja de datos del motor incluye características sobre el arranque incluyendo torque mínimo, amperajes. El motor y el cable pueden trabajar bajo el agua sin pérdidas herméticas de acuerdo con la protección de clase IP 68 (20 m). El radio de potencia eléctrica del cable es el adecuado, la bomba no está sobredimensionada sino de acuerdo con lo indicado en la curva de funcionamiento.

El motor contará, dentro de sus sistemas de protección, con un sistema que permita monitorear las variables de humedad al interior del motor, sobrecalentamiento en estator, sobrecorriente, vibración excesiva, el cual será parte del precio unitario del equipo.

#### Sensores como accesorios del Motor Eléctrico

- a) Temperatura en cada devanado del estator (PT-100, 100 ohms a 0°C).
- b) Temperatura roles (PT-100, 100 ohms a 0°C).
- c) Hermeticidad carcasa motor.
- d) Hermeticidad en la caja de conexiones del motor y celda de aceite.
- e) Diversos, garantizando servicio confiable de motor eléctrico.

- Auxiliares

- a) Caja de conexiones, sello hermético, montaje superficial. Fuerza Caja de conexiones NEMA 4X, sello hermético, construcción acero inoxidable, instalación en canaleta eléctrica perimetral al cárcamo, disponiendo de tablillas terminales, conexión a tierra, capacidad para recibir cables de fuerza clase 6 KVA y conductor a tierra.

Monitoreo y control: Caja de conexiones NEMA 4X, sello hermético, construcción acero inoxidable, instalación en canaleta eléctrica perimetral al cárcamo, disponiendo de tablillas terminales, capacidad para recibir cables de las bombas y del centro de control de motores.

- b) Multiconductor sumergible fuerza y tierra, alimentador a motor eléctrico desde caja conexiones superficial.  
c) Multiconductor sumergible de monitoreo y control.

- Protección anticorrosiva

Contará con protección anticorrosiva, empleando materiales adecuados para el manejo del agua residual, usado por el fabricante, teniendo en cuenta que la duración debe ser de al menos dos años, por lo que el fabricante lo garantizará.

- Prueba hidrostática y de operación

Las pruebas se realizarán conforme al Instituto Hidráulico (por sus siglas en inglés HI). A las pruebas efectuadas bajo este código no se permitirá ninguna tolerancia o margen negativo con respecto a la capacidad, carga total o eficiencia a las condiciones especificadas.

**Prueba Hidrostática:** Todas las partes de la bomba sujetas a presión durante su funcionamiento deberán ser probadas a una presión hidrostática equivalente a 1,5 veces la presión en el punto de diseño o 1,25 veces la presión a válvula cerrada.

**Pruebas de Operación:** Las pruebas funcionales en fábrica y campo, las características técnico-operativas de los equipos y en general cualquier aspecto relativo a estas Especificaciones deberán ser inspeccionadas y autorizadas por la supervisión. Previo al inicio de la construcción, el fabricante proporcionará planos de detalle y parámetros de

los equipos a la consideración de la supervisión para su revisión y autorización. Esta situación no releva al contratista de la obligación de suministrar, instalar y poner en funcionamiento equipos que se sujeten a las condiciones operativas señaladas en este documento.

### **Procedimiento de pruebas**

#### **a) Las pruebas que se señalan en estas especificaciones deberán desarrollarse en su totalidad.**

Adicionalmente, el fabricante deberá efectuar las pruebas que considere pertinentes para garantizar plenamente a la supervisión el correcto funcionamiento de sus equipos para las condiciones de operación señaladas anteriormente.

Todas estas actividades y conceptos deberán ser contemplados en la oferta del fabricante, ya que no se reconocerá ningún cargo extra.

La fecha y duración de las pruebas se establecerá de común acuerdo entre la supervisión y el proveedor, ajustándose a los códigos aplicables.

Cualquier controversia en puntos no señalados en las especificaciones, deberá ser resuelta a satisfacción de la supervisión previa al inicio de las pruebas.

#### **b) Inspección y operación preliminar**

Las partes interesadas realizarán una inspección completa del equipo antes, durante y después de las pruebas, para verificar el estricto cumplimiento de las especificaciones y las condiciones hidráulico-mecánicas de los equipos.

Deberá garantizarse que los instrumentos instalados posibiliten determinar la información objeto de las pruebas, y que no afecten la operación del equipo de bombeo.

El fabricante deberá certificar las desviaciones esperadas en los diversos elementos de medición (carga, caudal, potencia, etc.) y requerirá la aprobación de la supervisión, para lo cual presentará los reportes que avalen la calibración de todos los instrumentos utilizados en la prueba y con la vigencia requerida.

#### **c) Pruebas de comportamiento de motor eléctrico**

Las pruebas de comportamiento funcional del motor eléctrico se sujetarán al

contenido y procedimiento de rutina estipuladas en IEC 34-1, NEMA MG-1 y IEEE-112 "Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generator", última edición. Las pruebas de comportamiento se harán en conjunto con la bomba.

En párrafos subsecuentes se muestra con carácter obligatorio, pero no limitativo, la relación de pruebas de comportamiento funcional inherente al motor eléctrico:

- a. Prueba en vacío.
- b. Potencia nominal y corriente a plena carga.
- c. Par y corriente de arranque, a tensión plena.
- d. Par máximo.
- e. Incremento de temperatura.
- f. Eficiencia
- g. Factor de Potencia
- h. Prueba de vibración.

#### **d) Procedimiento de prueba**

- 1.- Fecha y duración. - Se definirá de común acuerdo entre la supervisión y el fabricante, respetando el contenido de las especificaciones.
- 2.- Personal. - Las pruebas serán efectuadas por personal especializado.
- 3.- Programa. - Previo al inicio de las pruebas se deberá disponer de un programa debidamente autorizado por la supervisión.
- 4.- Inspección. - Los equipos serán inspeccionados antes, durante y después de las pruebas debiendo disponerse de un reporte certificado.
- 5.- Calibración de instrumentos. - En forma simultánea a las actividades del inciso anterior, se presentarán los reportes de calibración de todos los instrumentos que se utilizarán en el desarrollo de las pruebas, verificándose su fecha de caducidad.
- 6.- Pruebas preliminares. - Las pruebas se iniciarán después que se determine que el conjunto de pruebas satisface los requerimientos de instalación y de estas especificaciones, y que la instrumentación está en correctas condiciones.

Se efectuarán corridas preliminares para verificar el desarrollo de la prueba y el funcionamiento de los dispositivos de control y medición.

7.- Realización de la prueba oficial. - El fabricante operará el equipo en el laboratorio por un tiempo suficiente para obtener la información tal como: carga, caudal, potencia, eficiencia en el rango completo de la curva característica de la bomba, a la velocidad ofertada. No se aceptan márgenes negativos en las condiciones de caudal, carga, eficiencia, en ningún punto de la curva.

Se efectuarán corridas preliminares para verificar el desarrollo de la prueba y el funcionamiento de los dispositivos de control y medición.

8.- Cálculos preliminares. - Se deberán efectuar suficientes cálculos preliminares con el objeto de determinar que se satisfacen todos los requerimientos de las especificaciones y que no se requieren pruebas adicionales.

9.- Corridas adicionales. - En caso de requerirse corridas posteriores a la prueba oficial, deberán realizarse a la brevedad posible con las mismas personas, dispositivos e instrumentos.

10.- Ajustes o Correcciones por velocidad. - Las pruebas deberán efectuarse empleando el elemento motriz que se instalará definitivamente con el equipo de bombeo.

En caso contrario, y previa autorización de la supervisión, deberán realizarse los ajustes pertinentes de acuerdo con H.I.

11.- Información. - Se proporcionará número de serie, modelo, tamaño y cualquier otro medio de identificación de la bomba y su elemento motriz.

12.- Dibujo. - Al graficar los resultados de las pruebas deberá tenerse presente que puede ocurrir error en cualquier punto, pero que todos los puntos establecerán una tendencia definida.

A menos que se introduzca un factor externo para provocar un cambio brusco, se graficará una curva continua suave, no necesariamente a través de cada punto.

13.- Reporte. - Deberá presentarse un reporte oficial definitivo abarcando acuerdos, inspecciones, personal que intervino, datos de calibración de los instrumentos, tabulaciones, descripciones, cálculos, gráficas, etc.

Las pruebas anteriores y en general cualquier actividad relacionada con estas especificaciones se ejecutarán en presencia del supervisor, sin disminuir en lo absoluto la responsabilidad del proveedor.

Todas las pruebas anteriormente descritas, deberán incluirse en el precio unitario de los equipos de bombeo.

- Revisión

Se deberá realizar una revisión cuidadosa antes, durante y después de las pruebas para asegurar la operación adecuada de la bomba, de los siguientes puntos:

- Alineamiento de la bomba y motor
- Sentido de la rotación
- Conexiones eléctricas
- Conexiones para tomas de presión
- Sistema de estoperos y lubricación
- Verificar la resistencia de los aislamientos para verificar el correcto funcionamiento del sistema de sellado
- Efectuar una revisión visual del equipo después de haberse efectuado las pruebas.

- Inspección

Todas las pruebas se ejecutarán en presencia de un inspector de la ASADA o de la organización encargada de la construcción de la obra, sin disminuir en lo absoluto la responsabilidad del proveedor. El proveedor proporcionará un reporte detallado y certificado de los resultados finales de todas las pruebas ejecutadas.

- Placa de datos

Deberá instalarse en lugar visible, una placa de acero inoxidable que contenga los siguientes datos:

- Razón social del fabricante
- Número de serie
- Modelo de la bomba
- Potencia del motor
- Voltaje y frecuencia de alimentación
- Velocidad de operación

- Caudal y carga de diseño
  - Diámetro y tipo de impulsor
- 
- Prueba en el sitio de instalación

El proveedor deberá instalar y probar todas las unidades de bombeo y sus accesorios en el sitio de instalación.

La contratista nivelará los equipos y probará, mecánica y eléctricamente, verificando sentido de giro, voltaje y corriente en vacío y con carga, comprobando que la velocidad de giro sea la indicada en especificación y manual del fabricante.

La contratista deberá verificar y recomendar si existiera algún mal funcionamiento en el arrancador, en el CCM, cableado de fuerza y control, conexiones de motor y estación de botones local, a fin de garantizar el buen funcionamiento del equipo.

Cada unidad deberá ser operada para verificar la no existencia de vibración y el funcionamiento correcto de todas sus partes. Cualquier deficiencia en el diseño, material o mano de obra, deberá ser corregida hasta satisfacer los requerimientos especificados. El representante autorizado dará por recibido el equipo a su entera satisfacción, hasta que las unidades estén trabajando bajo las condiciones establecidas.

- Información que deberá presentar el contratista en su propuesta

La siguiente documentación debe ser incluida como condición ineludible para que dicha oferta sea considerada.

- Arreglo de conjunto que incluya las dimensiones y pesos de los diversos elementos.
  - Curva característica de la bomba donde se obtengan datos como: Caudal, Carga, Eficiencia, Potencia hidráulica, NPSH req., sumergencia y requerimientos antivórtice.
  - Programa de suministro
  - Lista de materiales indicando el tipo y norma
- 
- Información que deberá presentar el contratista después de la adjudicación

- Planos de la bomba, incluyendo plantas, cortes y detalles
  - Programa de fabricación y pruebas
  - Información completa que posibilite a la ASADA o a la organización encargada de la construcción de la obra, el diseño de la cimentación.
  - -Manuales de mantenimiento y operación del equipo en particular, así como las pruebas que hay que realizar para la puesta en servicio del equipo, incluyendo todas las variables, eléctricas, mecánicas, dispositivos que sea necesario verificar.
  - -Recomendación de la periodicidad de las actividades de operación y mantenimiento en formatos que recomiende el fabricante.
- 
- Situaciones complementarias
- 
- a) La bomba se fabricará, ensamblará y probará funcionalmente en instalación de proveedor, bajo programa de aseguramiento de calidad con certificación HI.
  - b) El contratista satisfará a cabalidad, en sitio, el contenido estipulado en este documento referente a aspectos técnico-operativos del conjunto bomba motor.
  - c) Los equipos deberán ser producto de línea, primer uso, tecnología reciente y aplicación previa de unidades similares durante período mínimo comprobable de 5 años.
  - d) Cualquier revisión o aceptación parcial por parte de la ASADA, respecto al conjunto citado, no libera al contratista del compromiso ineludible de suministrar equipos sujetos a este documento.
  - e) Las pruebas en fábrica de equipos de bombeo y en campo se conceptualizan definitivas para aceptación, por lo que el contratista, deberá implementar la instrumentación necesaria, con su respectiva calibración vigente a la fecha de la prueba, efectuada por un laboratorio debidamente acreditado, para evaluar y reproducir de manera precisa los parámetros de la curva de comportamiento del equipo de bombeo.
  - f) La propuesta mostrará los factores de ajuste para trasladar resultados funcionales de fábrica realizados con agua limpia deareada a la circunstancia particular de la estación de bombeo destinada a manejar agua residual cruda

séptica, que mostrará arrastre de sólidos y elementos fibrosos, en adición a desprendimiento de gases en la succión de la bomba.

- g) La totalidad de actividades inherentes al contrato tendrán carácter atestiguado por la ASADA y/o tercera parte debidamente acreditada.
- h) El contenido de este documento tendrá plena vigencia en aspectos relativos al conjunto bomba-motor, observando prioridad sobre cualquier expresión técnica que aparezca en otros documentos complementarios.
- i) La contratista proporcionará completa facilidad de acceso a sus instalaciones y colaborará plenamente con la supervisión en las diversas etapas de trabajo.
- j) La cantidad de gases desprendidos en la succión del impulsor, se contempla función de la presión mínima imperante en la zona hidráulica y de la magnitud de la presión parcial de los gases contenidos en las aguas residuales producto de la degradación de la materia orgánica. Este aspecto será considerado por el fabricante al seleccionar el equipo propuesto.
- k) El valor de carga neta positiva disponible de succión señalado en este documento corresponde a NPSHD tradicional al manejo de agua limpia deareada y presión de succión del orden de la presión de vapor del líquido. Este concepto se fundamenta en evitar la vaporización del líquido, pero no permite controlar la cuantía de gases desprendidos en la succión de la bomba. Se considera indispensable limitar la cantidad de gases desprendidos al 2% volumétrico del caudal de aguas residuales manejado por la unidad de bombeo. Esta situación será contemplada por el fabricante al definir las características de la bomba.
- l) Los márgenes requeridos entre el NPSHd y el NPSHr, serán aquellos que se estipulan en American National Standard for Centrifugal and Vertical Pumps for NPSH Margin, ANSI/HI 9.6.1

### ESPECIFICACIONES VÁLVULAS DE SECCIONAMIENTO TIPO CAM CENTRIC PLUG

- Alcance

La presente especificación cubre el suministro, instalación, pruebas en fábrica, instalación y puesta en servicio de las válvulas de seccionamiento. El cumplimiento de estas especificaciones no libera al proveedor de la responsabilidad de suministrar equipo de diseño adecuado, mano de obra y materiales que cumplan con las condiciones de operación.

Válvula de seccionamiento tipo cam centric plug, modelo 5800 marca Valmatic similar o superior, de 0,305 m (12 plg)  $\varnothing$  de diámetro extremos bridados.

- Condiciones de operación
  - Fluido de manejar: Agua residual
  - Temperatura de operación: Ambiente
  - Presión de operación: 1,78 bar (18,2 mca)
  - Caudal de operación: 0,080 m<sup>3</sup>/s (80,20 l/s)
  - Clase: 125
  - Servicio: Seccionamiento
  - Localización: Descarga de bomba
  - Operación: Dos posiciones (on-off)
  - Norma: AWWA C-517
  
- Materiales
  - Cuerpo y tapa: Hierro Fundido ASTM A-126-B
  - Disco (Plug): Hierro Fundido ASTM A-126-B Con recubrimiento resiliente ASTM D2000
  - Asiento del cuerpo hierro: ASTM A126 con soldadura a base de níquel
  - Cojinete inferior: Acero inoxidable ASTM A276 - 316
  - Cojinete superior: Acero inoxidable ASTM A276 - 316
  - Volante: Hierro ASTM A-126-B
  - El operador de la válvula será de engranes lubricados en fábrica.
  
- Pruebas
  - Pruebas de funcionamiento. Las válvulas se abrirán y se cerrarán por lo menos dos veces para verificar que los interiores viajen libres de obstrucciones.
  - Prueba hidrostática. El cuerpo de la válvula deberá de ser probado hidrostáticamente a una presión de 210mca (21 kg/cm<sup>2</sup>) (300 psi). Si llegara existir cualquier porosidad no se aceptará ningún método para su

- corrección.
- Prueba de sello. El cuerpo de la válvula completamente armado se probará a una presión de 105 mca (10,50 kg/cm<sup>2</sup>) (150 psi) sin que existan fugas en los asientos de la válvula, según la norma AWWA C 517-.
- Supervisión. Las pruebas se deberán ejecutar en presencia de un representante de la ASADA o de la entidad que se disponga para ello en la obra, sin disminuir en lo absoluto la responsabilidad del Proveedor.

El contratista deberá proporcionar a la ASADA, o a la entidad que se disponga para ello en la obra, los certificados y análisis metalográficos que avalen la calidad de los materiales empleados conforme a las normas especificadas.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO

- Limpieza con chorro de abrasivos
  - Generalidades: Se refiere a la limpieza de superficies metálicas aplicando un chorro de abrasivos a presión. Se usarán arena o granalla metálica como abrasivos.
  - Procedimiento
    - a) Los depósitos de óxido, pintura adherida y cualquier otra sustancia extraña serán totalmente removidos de la superficie por medio del chorro de abrasivos.
    - b) El agente abrasivo será clasificado entre mallas. Cuando se use arena, esta será cuarzosa o silicosa, lavada, seca y no deberá estar contaminada con sales. Cuando se use granalla metálica esta será del tipo munición acerada, limpia y seca.
    - c) La rugosidad o máxima profundidad del perfil que se obtenga en la superficie limpia, y que servirá como anclaje para el recubrimiento, estará comprendida entre 0,00254 cm y 0,00635 mm (0,001 y 0,0025 plg) de acuerdo con el espesor de la película del primario, el cual deberá ser mayor que la profundidad del perfil o anclaje.
    - d) El aire deberá estar exento de agua, aceite o grasa.
    - e) Una vez efectuada la limpieza, cuando se emplee chorro de arena se efectuará una eliminación del polvo soplando la superficie con un chorro de aire seco y limpio.
    - f) La granalla metálica podrá usarse en limpiezas posteriores, siempre y cuando esté libre de contaminantes, debe estar seca y tamizada de acuerdo con las mallas N° 18 ASTM (tamiz de 1 mm) y N° 80 ASTM (tamiz

de 180 ).

- Aspecto: La superficie deberá quedar de color gris blanco, metálico y uniforme. No deberá mostrar óxido, pintura, aceite, grasa ni otra sustancia extraña.
- Aceptación de la superficie limpia: Para aceptar una superficie preparada con arena deberá tenerse el mismo aspecto que un área de 2,0 metros cuadrados, seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones de la superficie por limpiar. Para comprobar que la profundidad de anclaje es la especificada, la superficie preparada se comparará con la del patrón aceptado, utilizando la lámpara comparadora de anclaje u otro aparato de medición.
- Protección de la superficie limpia: El tiempo máximo que se permitirá que transcurra entre la limpieza y la protección de la superficie dependerá del ambiente en que se opere, pero nunca podrá ser mayor de cuatro horas. Cuando se exceda este tiempo el Contratista repetirá el trabajo de preparación de la superficie.

- Preparación de la superficie metálica grado "comercial" sspc-sp-6.

La pintura metálica con acabado comercial es definida como una superficie con un color gris oscuro y no se requiere que sea uniforme, con una rugosidad suficiente que servirá de base para los recubrimientos.

- Suministro y aplicación del recubrimiento

El recubrimiento se efectuará inmediatamente después de que la supervisión de la ASADA haya aceptado la limpieza de la tubería, en un lapso no mayor de cuatro horas, por consiguiente, no deberán limpiarse áreas grandes, sino únicamente aquellas que se alcancen a recubrir en el tiempo especificado.

Para extremos biselados que deberán ser soldados en campo, se dejará una faja de 15 cm sin pintar en el interior y exterior de la tubería. Las partes maquinadas que vayan a deslizarse entre sí no irán pintadas.

- No deberá aplicarse el recubrimiento cuando:
- Los trabajos son a la intemperie y se den condiciones de lluvia.
- La superficie por recubrir esté mojada o húmeda.

- La temperatura ambiente sea menor de 10 grados centígrados.
- La humedad relativa sea mayor de 90%.

La aplicación del recubrimiento se efectuará utilizando cualquier método, sin embargo, para cualquiera que se seleccione se deberán seguir las especificaciones e instrucciones del fabricante de los equipos utilizados.

Si se opta por la aplicación por aspersion neumática deberá ser previa autorización del Ingeniero Supervisor, deberá estar equipado con un tanque regularizador de presiones y con un dispositivo separador de aceite y humedad, que eventualmente pueda contener el aire del equipo neumático.

Terminada la aplicación, la película protectora deberá quedar uniforme y libre de escurrimientos, gotas, agrietamientos, corrugados, etc. Descubiertas todas las irregularidades, estas deberán ser removidas, a juicio del Ingeniero Supervisor, serán simplemente reimprimidas, limpiadas nuevamente cepillándolas y/o soplándolas con chorro de arena para ser posteriormente retocadas aplicando nuevamente el material de impresión.

Aplicación de recubrimiento anticorrosivo exterior e interior en tubería que vaya a instalarse de manera visible

- Superficie interior y exterior
  - a) Limpieza comercial según la especificación SSPC-SP-6 ó NALE No.3 ó similar.
  - b) Una mano de primario epóxico catalizado especificación PEMEX RP-6 ó similar a un espesor de película seca de 5 a 8 milésimas de centímetro (2-3 milésimas de pulgada).
  - c) Una mano de acabado epóxico catalizado especificación PEMEX RA26 ó similar a un espesor de película seca de 25 milésimas de centímetro (10 milésimas de pulgada).
- Detección eléctrica de la protección, para localización de fallas (poros, rajaduras, discontinuidades)

La pintura de esta tubería, bombas o motores deberá ser de alta calidad, con un brillo mínimo de 50% a 60 grados Celsius (centígrados), debiendo tener una resistencia al

rayado igual o mejor al grado 413 según ASTM-D3359; su resistencia al intemperismo- probada en cámara de niebla salina (ASTM B 117) a 72 horas, con paneles (ó 36 horas en piezas), deberá ser igual o menor al "grado 8" en ampollamiento- (ASTM-D-14), al grado 6 en corrosión (ASTM-D-3359).

El Contratista se obliga a recopilar las especificaciones del fabricante.

En cuanto a la inspección, pruebas de limpieza y recubrimientos, lo cual quedará incluido en los precios unitarios correspondientes, se habrá de realizar lo siguiente:

Inspección de los trabajos y equipo utilizados

a) Preparación de superficies

Para el caso de limpieza con abrasivos se usarán lámparas con patrones de limpieza de 1 a 11 milésimas de centímetro (0,5 a 4,5 milésimas de pulgada), que por comparación óptica con la superficie que se limpió, se determina la profundidad que ha dejado el abrasivo en el material y se emplean para establecer los patrones mencionados en el inciso C) del capítulo de limpieza con Chorro de Abrasivos.

b) Recubrimientos

Las especificaciones por sistemas de recubrimientos establecen un espesor de película mínimo.

c) Medidor de película húmeda

Se medirá el espesor inmediatamente después de ser aplicado el recubrimiento mediante el medidor de película húmeda de lectura directa Nordson o similar.

El instrumento se coloca perpendicular a la superficie y el espesor del recubrimiento se lee directamente en milésimas de centímetro. Si el calibrador se usa para determinar espesores de película húmeda de capas subsecuentes a la primera, debe tenerse cuidado de que las inferiores parcialmente endurecidas no sean penetradas bajo la presión del calibrador, dando como consecuencia lecturas más altas.

En caso de que el recubrimiento que está siendo medido se haya suavizado con solventes, el calibrador no puede emplearse con precisión.

d) Medidores de película seca

Se utilizará el calibrador del tipo magnético operado por imanes permanentes que puede

ser el "Elcometro", "Mikrotest" o "Certutest".

Para calibrar los instrumentos se utilizará una laminilla empleada como patrón que sea aproximadamente del espesor del recubrimiento a medir.

Debe tenerse cuidado de no penetrar el recubrimiento al presionar el calibrador para efectuar la lectura, ya que se obtendrán lecturas de espesores menores.

#### e) Detector eléctrico de fallas del recubrimiento

Se utilizará un detector eléctrico no destructivo similar al Tinker and Rasar modelo M-1 que aplica una tensión de 67 1/2 v. El aparato dispone de dos electrodos, uno en un cable que se conecta a tierra o a alguna parte desnuda de la superficie metálica y el electrodo de inspección que es un bastón cuyo extremo lleva una esponja que se satura en agua y se pasa por la superficie recubierta para localizar los poros. El electrolito de la esponja penetra en estos, cierra el circuito, anunciándose por sonido la existencia de la falla. Esta se marca y se repara, detectándose la reparación.

#### f) Equipos auxiliares

Higrómetros: Se utilizará para determinar la humedad relativa del medio ambiente.

Mallas o Tamices: El juego de mallas, tiene por objeto determinar periódicamente la granulometría del abrasivo para limpieza como parte de control de la calidad de preparación de superficies.

Pruebas: Los recubrimientos deberán cumplir, como mínimo, las siguientes pruebas en el laboratorio que designe la ASADA

-Adherencia según el método de ensayo ASTM D-3359, Procedimiento A, Norma ISO-16276-2 para un 0% de área desprendida.

- Espesor de película seca según método ASTM D 2621, Norma ISO-2366.
- Coeficiente de abrasión.
- Salpicado (Método Gardner)
- Doblado (resistencia a la flexión)
- Inmersión en solución de sulfato de sodio.

Las pruebas de adherencia y de espesor de película seca, se deberán hacer nuevamente y directamente en las piezas recubiertas, por personal de control del laboratorio que designe

la ASADA.

Los sistemas de recubrimiento detallados en estas especificaciones estarán sujetos a una inspección rigurosa durante la ejecución y al terminarse ésta.

La limpieza mecánica (quitar salpicaduras de soldadura, laminaciones, parches de metal, etc.) se debe efectuar antes de aplicar los recubrimientos anticorrosivos, si por el descuido o negligencia, llegaran estos tipos de defectos hasta los acabados, se deberá efectuar el proceso de limpieza con esmeril y se deberá aplicar de nuevo el mismo sistema utilizado. Ningún sistema de recubrimiento podrá darse por aceptado hasta que todas las pruebas, análisis e inspección final correspondientes, hayan sido certificados por el inspector designado por la ASADA.

- Parcheo

Esta actividad contempla el recubrimiento anticorrosivo interior y exterior de las porciones de unión de tubos soldados. Para lo anterior deberá realizarse en forma semejante al procedimiento de protección de la tubería en obra.

#### **4.1.5. Análisis de necesidad de terrenos**

Como se mencionó en la sección 4.1.3.2, es necesario colocar una estación de bombeo conforme las características descritas en dicha sección. Para lo anterior, es necesario contar con un área de aproximadamente 450 m<sup>2</sup>, contando la huella de la estación según el prediseño de esta, así como los retiros necesarios.

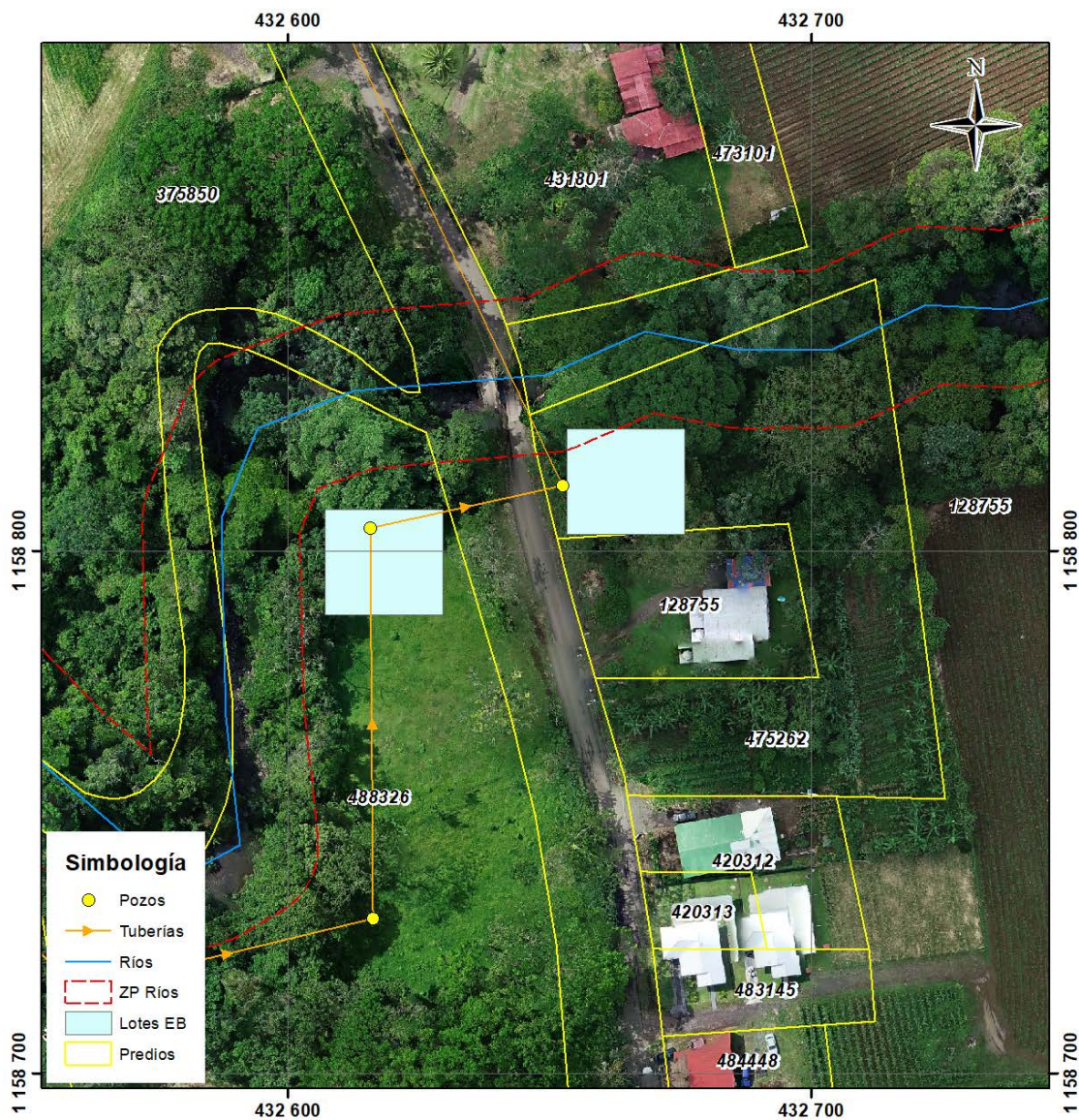


Figura 5. Ubicación de posibles lotes para EB

Para esto, se cuenta con dos opciones de posibles terrenos, ubicados al final del colector del Río Burío, que son los siguientes:

Tabla 10. Posibles terrenos para la estación de bombeo

N° ESTACIÓN	FINCA	PLANO	AREA (m <sup>2</sup> )	PROPIETARIO
Est. Bombeo #1	475262	A-1439409-2010	4638	MERCEDES SOLIS TORRES
	488326	A-1507684-2011	13739	JOAQUIN BERNARDO BLANCO ACUÑA

Como se puede observar en la Figura 5, ambos cuentan con suficiente espacio para segregar el área necesaria para la estación de bombeo.

Aparte de la estación de bombeo, los colectores también tendrán necesidad de constituir servidumbres en mayor o menor medida, por lo que en las próximas dos secciones se describe la situación para cada opción.

#### 4.1.5.1. Opción 1

Para el caso de la Opción #1, la propuesta es llevar los colectores por la zona de protección del río. Lo anterior genera las siguientes situaciones:

- La necesidad de obtener la “Declaratoria de Interés Nacional” del proyecto para poder utilizar la zona de protección del río definida por la Ley Forestal, en la colocación de los colectores. Esto podría tener largos periodos de gestión. Como parte de este trámite, es necesario implementar un plan de compensación en la zona afectada. Además, con este trámite, es necesario profundizar en estudios y es requerido realizar un plan de compensación.
- El visto bueno de los propietarios de las fincas que se verían afectadas por el paso de los colectores.
- Esto requiere de estructuras de protección en las curvas del cauce, para evitar que la caída del talud afecte la tubería, lo que aumenta los costos de esta opción.

Para lo anterior, se realizó un listado de las fincas por las que pasan los colectores, con el fin de tener la información para la solicitud de permisos. También se incluyen algunos sitios donde sería necesaria la constitución de alguna servidumbre, debido a la existencia de curvas muy pronunciadas del cauce, lo que complica seguir ese accidente topográfico con la tubería.

Tabla 11. Propiedades para colocar colectores en zona de protección

COLECTOR	TRAMO	FINCA	PLANO	AREA (m <sup>2</sup> )	PROPIETARIO	COMENTARIO	COSTO (\$)
Burío	Ecoquintas	488326	A-1507684-2011	13739	JOAQUIN BERNARDO BLANCO ACUÑA	Zona de protección	-
		359287	A-0612437-2000	1612	CABO MAR L Y R SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-
		128757	A-0272749-1995	67850	INVERSIONES LAS BRISAS SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-

COLECTOR	TRAMO	FINCA	PLANO	AREA (m <sup>2</sup> )	PROPIETARIO	COMENTARIO	COSTO (\$)	
Danta	El Estadio	393639	A-0640241-2000	22393	SAFIRO PRODUCCIONES INTERNACIONALES SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-	
		364833	A-0272747-1995	21713	PIÑA MECANIZADA DOS MIL CINCO SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-	
		339290	A-0909656-2004	115006	HERNAN BLANCO CUBILLO	Zona de protección	-	
		508946	A-1670903-2013	140371	CARLOS LUIS VARGAS GONZALEZ	Zona de protección	-	
		183665	A-0362183-1979	219127	3-101-552838 SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-	
		195967	A-0427415-1981	6634	CRISTIAN JESUS CEDEÑO VILLEGAS	Zona de protección	-	
		195965	A-0427416-1981	6506	MARIA CLEMENCIA VARGAS PEREZ	Zona de protección	-	
		399635	A-0645943-2000	9173	SCOTTO AND SON INVESTMENTS LIMITADA	Zona de protección	-	
		445214	A-1175584-2007	540	MUNICIPALIDAD DE SAN CARLOS	Zona de protección	-	
		474306	A-1448309-2010	42884	FINCA LA NOELIA CEDELLANO SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-	
		474297	A-1449438-2010	42883	GANADERA CEMA SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-	
		Danta	Resid. El Burío	473997	A-1448308-2010	42883	GANADERA CEDEVILLA LA UNION Q.S. SOCIEDAD ANONIMA	Posible servidumbre 91m
387947	A-0645947-2002			8159	EVA GRACE DE LOS ANGELES SALAS SALAS	Zona de protección	-	
Ecoquintas	San Bosco		148923	A-1237160-2007	124602	INVERSIONES FAMILIARES DAQUESA C.Q.H. SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-
			375850	A-0618697-2000	493433	INVERSIONES LAS BRISAS SOCIEDAD ANONIMA	Posible servidumbre 257m	45 535
			533127	A-1828649-2015	91732	NO CONSTA (ESTÁ DENTRO DEL RESIDENCIAL)	Zona de protección	-
			217349	A-1217918-2008	215454	CARLOS LUIS VARGAS GONZALEZ	Zona de protección	-
			370394	A-0716003-2001	23104	INVERSIONES LOCEN DOS MIL OCHO SOCIEDA ANONIMA	Zona de protección	-
			148911	A-0520967-1998	115320	CORPORACION HIDASOL A V J G SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-
			135562	A-0685969-2001	7235	INVERSIONES LOCEN DOS MIL OCHO SOCIEDA ANONIMA	Zona de protección	-
			449672	A-1304451-2008	6212	ALONDRA MADRIGAL VARGAS SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-
466078	A-1409004-2010		23310	TIFAKARA SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-		

COLECTOR	TRAMO	FINCA	PLANO	AREA (m <sup>2</sup> )	PROPIETARIO	COMENTARIO	COSTO (\$)
		370390	A-0716000-2001	50157	MARIBETH OVIEDO QUESADA	Zona de protección	-
		493524	A-0949684-2004	50156	FINCA EL MARFIL DORADO SOCIEDAD ANONIMA	Posible servidumbre 67m	11 871
		493525	A-1217914-2008	60655	INVERSIONES LOCEN DOS MIL OCHO SOCIEDA ANONIMA	Zona de protección	-
		468113	A-1339282-2009	15000	ARENAL ALAMANDRA SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-
		148909	A-1074274-2006	21236	ARENAL RIO DANTA SOCIEDAD ANONIMA	Zona de protección	-
		373729	A-0306859-1996	26412	ANDREA VARELA QUESADA	Zona de protección	-
<b>TOTAL</b>							<b>73 529</b>

### 4.1.5.2. Opción 2

En este caso, los colectores que se contemplaron para pasar por las zonas de protección de los ríos se estarían moviendo hacia las fincas, con la consecuente necesidad de constituir la servidumbre en esos tramos. En la siguiente tabla se muestran las fincas por donde pasarían los colectores, con su respectiva longitud de servidumbre necesaria en cada caso. En este caso, ya no se necesitan las estructuras de protección, pero sí la adquisición de estas servidumbres.

COLECTOR	TRAMO	FINCA	PLANO	AREA (m <sup>2</sup> )	PROPIETARIO	LONGITUD (m)	COSTO (\$)
Burío	Ecoquintas	488326	A-1507684-2011	13739	JOAQUIN BERNARDO BLANCO ACUÑA	155	27 463
		359287	A-0612437-2000	1612	CABO MAR L Y R SOCIEDAD ANONIMA	75	13 288
		128757	A-0272749-1995	67850	INVERSIONES LAS BRISAS SOCIEDAD ANONIMA	195	34 550
		393639	A-0640241-2000	22393	SAFIRO PRODUCCIONES INTERNACIONALES SOCIEDAD ANONIMA	52	9 213
		364833	A-0272747-1995	21713	PIÑA MECANIZADA DOS MIL CINCO SOCIEDAD ANONIMA	84	14 883
		339290	A-0909656-2004	115006	HERNAN BLANCO CUBILLO	399	70 694
		508946	A-1670903-2013	140371	CARLOS LUIS VARGAS GONZALEZ	335	59 355
Danta	Ecoquintas	375850	A-0618697-2000	493433	INVERSIONES LAS BRISAS SOCIEDAD ANONIMA	929	164 599
		533127	A-1828649-2015	91732	NO CONSTA (ESTÁ DENTRO DEL RESIDENCIAL)	325	57 583

COLECTOR	TRAMO	FINCA	PLANO	AREA (m <sup>2</sup> )	PROPIETARIO	LONGITUD (m)	COSTO (\$)
		217349	A-1217918-2008	215454	CARLOS LUIS VARGAS GONZALEZ	787	139 440
	San Bosco	370394	A-0716003-2001	23104	INVERSIONES LOCEN DOS MIL OCHO SOCIEDAD ANONIMA	77	13 643
		148911	A-0520967-1998	115320	CORPORACION HIDASOL A V J G SOCIEDAD ANONIMA	130	23 033
		278941	A-0825617-2002	5486	JAIME MAURICIO SOLIS ROJAS	117	20 730
		449672	A-1304451-2008	6212	ALONDRA MADRIGAL VARGAS SOCIEDAD ANONIMA	99	17 541
		466078	A-1409004-2010	23310	TIFAKARA SOCIEDAD ANONIMA	86	15 237
		370390	A-0716000-2001	50157	MARIBETH OVIEDO QUESADA	156	27 640
		493524	A-0949684-2004	50156	FINCA EL MARFIL DORADO SOCIEDAD ANONIMA	148	26 222
		468113	A-1339282-2009	15000	ARENAL ALAMANDRA SOCIEDAD ANONIMA	103	18 249
		148909	A-1074274-2006	21236	ARENAL RIO DANTA SOCIEDAD ANONIMA	126	22 325
		373729	A-0306859-1996	26412	ANDREA VARELA QUESADA	130	23 033
<b>TOTAL</b>							<b>798 723</b>

## 4.1.6. Presupuesto preliminar

Se elaboró el presupuesto del diseño preliminar de la inversión inicial necesaria para llevar a cabo la instalación del alcantarillado sanitario (esto para cada opción), así como la estimación de los costos de operación y mantenimiento (siendo la misma para ambas opciones). En las siguientes secciones se incluye el desglose. En este presupuesto no se incluyen las redes e interconexiones intradomiciliarias.

### 4.1.6.1. Presupuesto de inversión: Opción 1

El monto total de inversión para este caso es de \$5.789.461.264, que equivale a \$8.640.987 (TC=670<sup>1</sup>)

Tabla 12. Presupuesto Diseño Preliminar Opción #1

Número	Descripción	Und.	Cantidad	Suministro de Materiales		Construcción		Total costos directos
				Unitario (€)	Total (€)	Unitario (€)	Total (€)	
<b>1. Red de Alcantarillado Sanitario</b>								
1.1	Tubería Sanitaria 200mm (8")				1.177.506.575		396.392.207	1.573.898.782
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	19.702	0	0	4.500	88.659.090	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	455	14.500	6.592.599	1.500	681.993	
	Compactación	m <sup>3</sup>	15.155	0	0	4.500	68.199.300	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	5.246	3.300	17.312.130	1.550	8.131.455	
	Tubería Sanitaria 200mm (8")	m	23.316	49.477	1.153.601.846	9.895	230.720.369	
1.2	Tubería Sanitaria 250mm (10")				142.102.796		42.697.173	184.799.969
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	1.778	0	0	4.500	8.000.168	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	40	14.500	572.852	1.500	59.261	
	Compactación	m <sup>3</sup>	1.317	0	0	4.500	5.926.050	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	456	3.300	1.504.305	1.550	706.568	
	Tubería Sanitaria 250mm (10")	m	2.026	69.114	140.025.639	13.823	28.005.128	

<sup>1</sup> Tasa de cambio vigente al momento de elaborar esta etapa del estudio en marzo de 2022

Número	Descripción	Und.	Cantidad	Suministro de Materiales		Construcción		Total costos directos
				Unitario (€)	Total (€)	Unitario (€)	Total (€)	
1.3	Tubería Sanitaria 300mm (12")				322.233.695		89.744.344	411.978.039
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	3.200	0	0	4.500	14.402.115	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	69	14.500	994.432	1.500	102.872	
	Compactación	m	2.286	0	0	4.500	10.287.225	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	791	3.300	2.611.373	1.550	1.226.554	
	Tubería Sanitaria 300mm (12")	m	3.517	90.597	318.627.891	18.119	63.725.578	
1.4	Tubería Sanitaria 375mm (15")				288.642.386		75.473.583	364.115.969
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	2.295	0	0	4.500	10.328.614	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	47	14.500	676.904	1.500	70.025	
	Compactación	m	1.556	0	0	4.500	7.002.450	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	539	3.300	1.777.545	1.550	834.908	
	Tubería Sanitaria 375mm (15")	m	2.394	119.544	286.187.937	23.909	57.237.587	
1.5	Tubería Sanitaria 450mm (18")				200.002.546		48.822.754	248.825.301
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	1.165	0	0	4.500	5.241.015	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	23	14.500	326.859	1.500	33.813	
	Compactación	m	751	0	0	4.500	3.381.300	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	260	3.300	858.330	1.550	403.155	
	Tubería Sanitaria 450mm (18")	m	1.156	171.987	198.817.357	34.397	39.763.471	
1.6	Pozos y Estructuras				938.571.414		375.428.566	1.313.999.980
	Pozos de 1,5-3 metros promedio	Unid.	304	1.796.875	546.250.000	718.750	218.500.000	
	Pozos de >3 metros promedio	Unid.	90	3.526.875	317.418.750	1.410.750	126.967.500	
	Pasos Elevados	Unid.	8	9.362.833	74.902.664	3.745.133	29.961.066	
<b>2. Red a presión</b>								
2.1	Tubería PEAD DR-11 400mm (16")				61.949.631		14.553.221	76.502.852
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	282	0	0	4.500	1.267.988	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	6	14.500	81.715	1.500	8.453	



	Compactación	m <sup>3</sup>	188	0	0	4.500	845.325
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	65	3.300	214.583	1.550	100.789
	Tubería PEAD DR-11 400mm (16")	m	289	213.333	61.653.333	42.667	12.330.667

Número	Descripción	Und.	Cantidad	Suministro de Materiales		Construcción		Total costos directos
				Unitario (€)	Total (€)	Unitario (€)	Total (€)	
2.2	Estación de bombeo #1				161.936.875		59.656.938	221.593.813
	Edificio Caseta - Planta de Emergencia	m <sup>2</sup>	30	778.125	23.343.750	311.250	9.337.500	
	Edificio Fosos de Bombeo	m <sup>2</sup>	110	515.625	56.718.750	206.250	22.687.500	
	Tapia perimetral y portones	ml	70	418.750	29.312.500	167.500	11.725.000	
	Sistema eléctrico baja tensión	m <sup>2</sup>	140	229.219	32.090.625	91.688	12.836.250	
	Equipo de bombeo, cárcamo y accesorios	gbl	1	20.471.250	20.471.250	3.070.688	3.070.688	
<b>3. Terrenos y protecciones</b>								
3.1	Colectores por zona de protección de ríos				1.393.746.560		0	1.393.746.560
	Servidumbres	gbl	1	47.058.560	47.058.560	0		
	Protección de laderas	gbl	1	1.266.688.000	1.266.688.000	0		
	Plan de compensación	glb	1	80.000.000	80.000.000			
<b>TOTAL RECOLECCIÓN</b>								<b>5.789.461.264</b>

### 4.1.6.2. Presupuesto de inversión: Opción 2

El monto total de inversión para este caso es de \$51.57.747.403, que equivale a \$7.698.130 (TC=670<sup>2</sup>)

Tabla 13. Presupuesto Diseño Preliminar Opción #2

Número	Descripción	Und.	Cantidad	Suministro de Materiales		Construcción		Total costos directos
				Unitario (¢)	Total (¢)	Unitario (¢)	Total (¢)	
<b>1. Red de Alcantarillado Sanitario</b>								
1.1	Tubería Sanitaria 200mm (8")				901.361.183		303.431.468	1.204.792.652
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	15.082	0	0	4.500	67.867.020	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	348	14.500	5.046.522	1.500	522.054	
	Compactación	m <sup>3</sup>	11.601	0	0	4.500	52.205.400	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	4.016	3.300	13.252.140	1.550	6.224.490	
	Tubería Sanitaria 200mm (8")	m	17.848	49.477	883.062.521	9.895	176.612.504	
1.2	Tubería Sanitaria 250mm (10")				155.499.456		46.722.425	202.221.881
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	1.945	0	0	4.500	8.754.379	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	43	14.500	626.857	1.500	64.847	
	Compactación	m <sup>3</sup>	1.441	0	0	4.500	6.484.725	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	499	3.300	1.646.123	1.550	773.179	
	Tubería Sanitaria 250mm (10")	m	2.217	69.114	153.226.477	13.823	30.645.295	
1.3	Tubería Sanitaria 300mm (12")				237.117.089		66.038.772	303.155.861
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	2.355	0	0	4.500	10.597.860	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	50	14.500	731.757	1.500	75.699	
	Compactación	m	1.682	0	0	4.500	7.569.900	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	582	3.300	1.921.590	1.550	902.565	
	Tubería Sanitaria 300mm (12")	m	2.588	90.597	234.463.742	18.119	46.892.748	
1.4	Tubería Sanitaria 375mm (15")				592.476.476		154.919.460	747.395.936
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	4.711	0	0	4.500	21.200.839	

<sup>2</sup> Tasa de cambio vigente al momento de elaborar esta etapa del estudio en marzo de 2022.

Número	Descripción	Und.	Cantidad	Suministro de Materiales		Construcción		Total costos directos
				Unitario (€)	Total (€)	Unitario (€)	Total (€)	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	96	14.500	1.389.434	1.500	143.735	
	Compactación	m	3.194	0	0	4.500	14.373.450	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	1.106	3.300	3.648.645	1.550	1.713.758	
	Tubería Sanitaria 375mm (15")	m	4.914	119.544	587.438.397	23.909	117.487.679	
1.5	Tubería Sanitaria 450mm (18")				556.408.468		135.825.241	692.233.709
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	3.240	0	0	4.500	14.580.540	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	63	14.500	909.324	1.500	94.068	
	Compactación	m	2.090	0	0	4.500	9.406.800	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	724	3.300	2.387.880	1.550	1.121.580	
	Tubería Sanitaria 450mm (18")	m	3.216	171.987	553.111.264	34.397	110.622.253	
1.6	Pozos y Estructuras				856.191.414		342.476.566	1.198.667.980
	Pozos de 1,5-3 metros promedio	Unid.	319	1.796.875	573.203.125	718.750	229.281.250	
	Pozos de >3 metros promedio	Unid.	59	3.526.875	208.085.625	1.410.750	83.234.250	
	Pasos Elevados	Unid.	8	9.362.833	74.902.664	3.745.133	29.961.066	
<b>2. Red a presión</b>								
2.1	Tubería PEAD DR-11 400mm (16")				61.949.631		14.553.221	76.502.852
	Excavación de tubería de red	m <sup>3</sup>	282	0	0	4.500	1.267.988	
	Encamado y relleno	m <sup>3</sup>	6	14.500	81.715	1.500	8.453	
	Compactación	m <sup>3</sup>	188	0	0	4.500	845.325	
	Reemplazo pavimento de lastre	m <sup>2</sup>	65	3.300	214.583	1.550	100.789	
	Tubería PEAD DR-11 400mm (16")	m	289	213.333	61.653.333	42.667	12.330.667	
2.2	Estación de bombeo #1				161.936.875		59.656.938	221.593.813
	Edificio Caseta - Planta de Emergencia	m <sup>2</sup>	30	778.125	23.343.750	311.250	9.337.500	
	Edificio Fosos de Bombeo	m <sup>2</sup>	110	515.625	56.718.750	206.250	22.687.500	
	Tapia perimetral y portones	ml	70	418.750	29.312.500	167.500	11.725.000	
	Sistema eléctrico baja tensión	m <sup>2</sup>	140	229.219	32.090.625	91.688	12.836.250	
	Equipo de bombeo, cárcamo y accesorios	gbl	1	20.471.250	20.471.250	3.070.688	3.070.688	
<b>3. Terrenos y protecciones</b>								

Número	Descripción	Und.	Cantidad	Suministro de Materiales		Construcción		Total costos directos
				Unitario (€)	Total (€)	Unitario (€)	Total (€)	
3.1	Colectores por servidumbres de fincas				511.182.720		0	511.182.720
	Servidumbres	gbl	1	511.182.720	511.182.720	0		
	Protección de laderas	gbl	1	0	0	0		
<b>TOTAL RECOLECCIÓN</b>								<b>5.157.747.403</b>

### 4.1.6.3. Costos de operación y mantenimiento

En la Tabla 14 se presentan los rubros incluidos para estimar los costos de operación y mantenimiento de la red de alcantarillado sanitario, tomando en cuenta también la estación de bombeo. Se proyectó que el costo se extenderá hasta el año 30 de funcionamiento, sin embargo, el costo de posibles aumentos a futuro traídos a valor presente se realiza en la sección financiera de este informe (sección 4.2.9). Se brinda únicamente una tabla, ya que ambas opciones de alcantarillado tendrán los mismos costos de O&M.

Tabla 14. Estimación de Costos de O&M

Categorización de costos de operación	Bienes locales (costos mensuales)		Período (costos anuales)			
	Neto (€)	Bruto (€)	1	2	...	30
Servicios personales	0	800.000	9.600.000	9.600.000	...	9.600.000
Personal calificado (1 persona – 20% de tiempo)	0	100.000	1.200.000	1.200.000	...	1.200.000
Personal no calificado (2 personas – 75% de tiempo)		700.000	8.400.000	8.400.000	...	8.400.000
Servicios no personales	0	1.750.000	10.000.000	10.000.000	...	10.000.000
Servicios básicos (teléfono, internet, agua)					...	
Electricidad		750.000	9.000.000	9.000.000	...	9.000.000
Mantenimiento, reparación y limpieza					...	
Servicios técnicos		1.000.000	1.000.000	1.000.000	...	1.000.000
Servicios comerciales					...	
Materiales y suministros	0	120.000	1.440.000	1.440.000	...	1.440.000



Categorización de costos de operación	Bienes locales (costos mensuales)		Período (costos anuales)			
	Neto (€)	Bruto (€)	1	2	...	30
Productos químicos					...	
Combustibles		40.000	480.000	480.000	...	480.000
Materiales de limpieza					...	
Gastos de electricidad					...	
Otros materiales y suministros		80.000	960.000	960.000	...	960.000
Otros costos de operación	0	0	0	0	...	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>2.670.000</b>	<b>21.040.000</b>	<b>21.040.000</b>	<b>...</b>	<b>21.040.000</b>

### 4.1.7. Priorización de obras

Las obras a realizar se proponen que se realicen según la siguiente priorización. Esta priorización se realiza según la ubicación de los barrios o sectores de la red.

Tabla 15. Etapas de Priorización de Obras

Etapa	Actividad
Etapa I	Formalización de la constitución de las servidumbres / permisos en zona de protección de ríos
	Diseño Final del Sistema de Alcantarillado
Etapa II	Construcción de colector final de entrada a la PTAR
	Construcción de colectores R. Burío y Q. Danta
Etapa III	Construcción Barrios: Centro, El Burío, El Jardín
Etapa IV	Construcción Barrios: Doña Dora, El Estadio, La Rivera, Residencial Maderal, Sol Norte, Urb. El Estadio, Urb. Florecillas
Etapa V	Construcción Barrios: Don Bosco, El Seguro, La Iguana, Las Palmas, Los Tanques, Manolo, Olivos, Pastoral
Etapa VI	Construcción Barrios: Llanura Clara, Residencial El Burío, Valle del Volcán
Etapa VII	Construcción Barrios: Zeta 13
Etapa VIII	Construcción Barrios: Sinaí

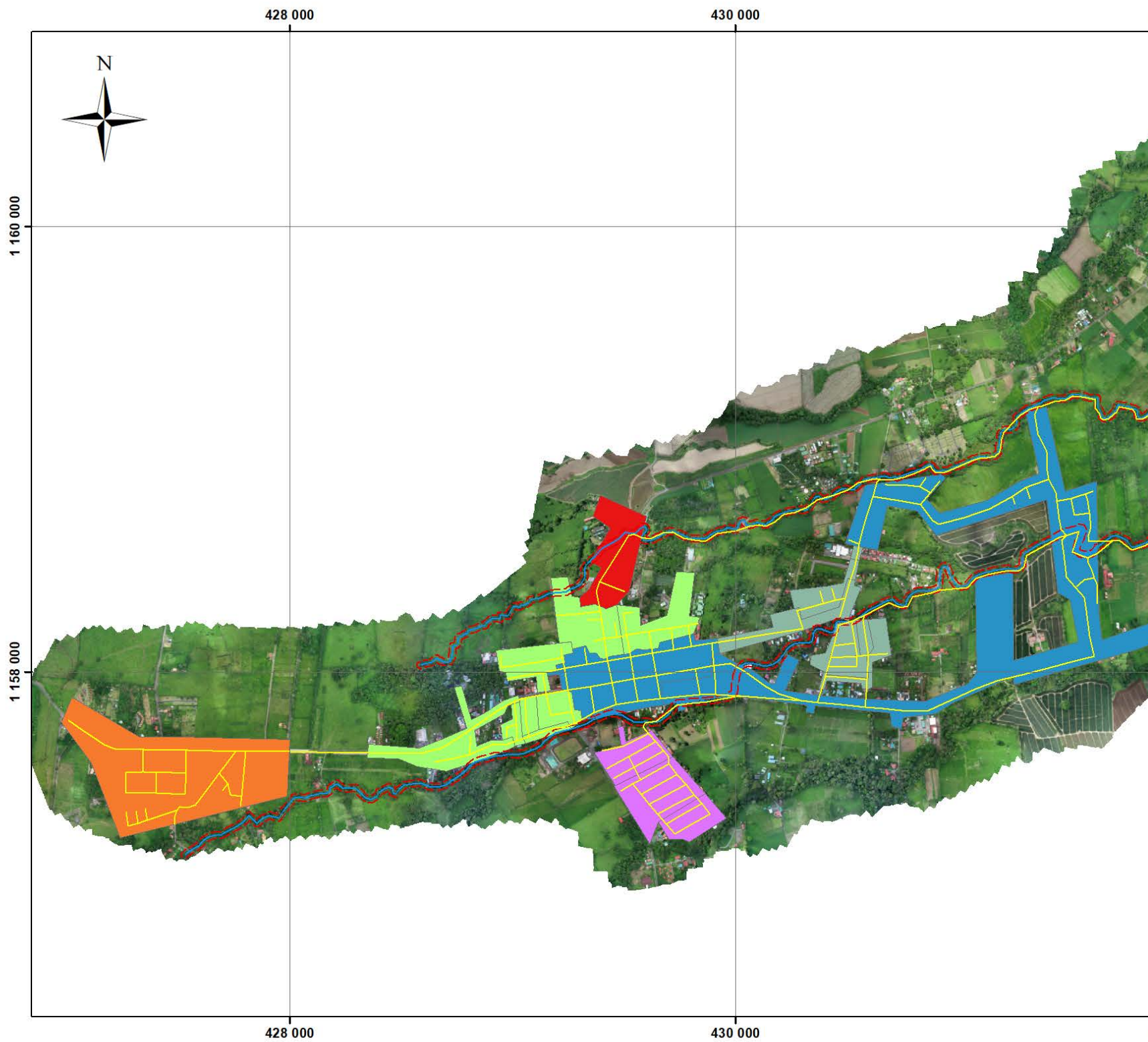


Figura 6. Esquema de priorización de obras del alcantarillado sanitario.

## 4.1.8. Cronograma preliminar de obras

Conforme a la priorización por etapas indicada en la Tabla 15, se propone un tiempo de ejecución de todo el proyecto de 3 años, en donde se incluye la obtención de los terrenos para la estación de bombeo y las servidumbres, así como la construcción de la red de recolección, según las etapas señaladas en la sección anterior.

Tabla 16. Cronograma preliminar de obras

Etapa	Año 1	Año 2	Año 3
Etapa I			
Etapa II			
Etapa III			
Etapa IV			
Etapa V			
Etapa VI			
Etapa VII			
Etapa VIII			

## 4.2. Planta de tratamiento de aguas residuales

### 4.2.1. Dimensionamiento hidráulico, sanitario, estructural y electromecánico

#### 4.2.1.1. Dimensionamiento hidráulico

En el apartado de dimensionamiento hidráulico se analizó de manera general las condiciones del terreno de la planta de tratamiento, donde una vez definida la topografía y el dimensionamiento de las unidades de tratamiento, se determinaron perfiles hidráulicos para la justificación de requerimientos de bombeo y las cargas hidráulicas disponibles entre las unidades de tratamiento para la valoración de las pérdidas hidráulicas y la ubicación del cabezal de desfogue. Los perfiles hidráulicos determinados son los siguientes:

- Perfil hidráulico del pretratamiento,
- Perfil hidráulico de reactores UASB y filtros percoladores,
- Perfil hidráulico filtros percoladores a sedimentadores secundarios,
- Perfil hidráulico sedimentadores secundarios a desinfección,

- Perfil hidráulico del cabezal de desfogue.

En Anexo 6. Láminas se presentan dichos perfiles hidráulicos de la PTAR.

#### 4.2.1.2. Dimensionamiento sanitario

##### Información base del diseño

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está localizada en la Fortuna de San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica. Esta se propone ser construida en una única etapa, y mediante un análisis de sensibilidad del sistema de tratamiento, realizar la incorporación de las unidades de tratamiento hasta alcanzar los caudales de diseño esperados para el 2050.

Tabla 17. Carga hidráulica para el 2050.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal promedio	$Q_{prom}$	m <sup>3</sup> /d	11767,7
Caudal máximo diario	-	m <sup>3</sup> /d	14878,1
Caudal máximo horario	$Q_{max}$	m <sup>3</sup> /d	21945,6

Tabla 18. Concentración de contaminantes a tratar para el 2050. (GIZ, 2021)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor influente	Valor efluente
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	496,5	36,1
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	113,1	67,2
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	408,4	21,2
Nitrógeno amoniacal	NH <sub>3</sub> -N	mg/l	27,5	6,8

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor influente	Valor efluente
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	mg/l	20,0	7,7
Grasas y aceites	GyA	mg/l	36,49	3,65
Fósforo <sup>1</sup>	P	mg/l	7	3,9

<sup>1</sup>Valor teórico aguas residuales ordinarias (Sperling, 2007)

## Diagrama de flujo

En la Figura 7 se presenta un diagrama de flujo simplificado de las unidades de tratamiento de aguas residuales. En este se observa que el agua cruda ingresa a las unidades mecanizadas de tratamiento con rejillas mecánicas, tamiz y desarenadores (1) para la remoción de los sólidos gruesos, atrapados, arenas, grasas y aceites. Seguidamente, el tanque de homogenización (2) recibe los diferentes caudales horarios generados en el área de estudio para suministrar un caudal constante y una carga orgánica más eculizada a los tratamientos biológicos posteriores.

Las aguas acumuladas en el tanque de homogenización son bombeadas directamente a los 3 reactores UASB que trabajan en paralelo (3) para la distribución del caudal y tratamiento de las aguas residuales. En el reactor UASB se dan procesos anaerobios que generan como producto principal el biogás, el cual se ingresaría al quemador para su combustión y emisión a la atmósfera. Por otra parte, se generan lodos en exceso que deben ser retirados del reactor (Línea café continua) y que dichos lodos poseen características adecuadas para ser deshidratados únicamente en los lechos de secado (7) y realizar su disposición final. Es importante mencionar que los reactores UASB reciben los lodos en exceso generados por los filtros percoladores (Línea café discontinua) con la finalidad de terminar de acondicionar dichos lodos y ser dispuestos con los lodos en exceso generados por los UASB.

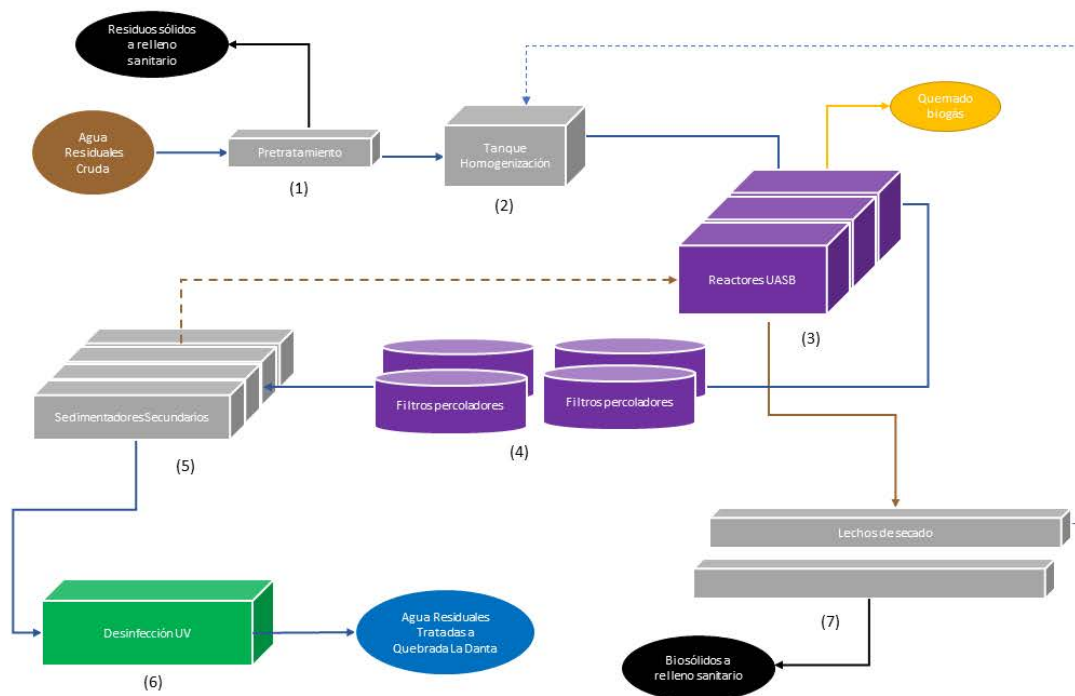


Figura 7. Diagrama de flujo simplificado de la PTAR.

El efluente de salida de los reactores UASB es rociado en los filtros percoladores (4), mediante equipos de distribución rotatorios a 4 unidades que operan en paralelo. El agua residual sale de los filtros percoladores mezclada con los lodos de descarte hacia los sedimentadores secundarios (5) donde 4 unidades operan en paralelo acumulando y se bombean constantemente los lodos a los reactores UASB. El agua clarificada pasa por un canal que cuenta con equipos con lámpara UV para la desinfección (6). Finalmente, los lodos deshidratados y los desechos acumulados del pretratamiento se les realiza una disposición final adecuada.

En la Figura 8 se presenta el balance de masas preliminar del primer dimensionamiento. Por otra parte, en la Figura 9 se muestra el balance de masas preliminar actualizado incluyendo las líneas de flujo de sólidos y líquidos de retorno tanto a los reactores UASB como al tanque de homogenización.

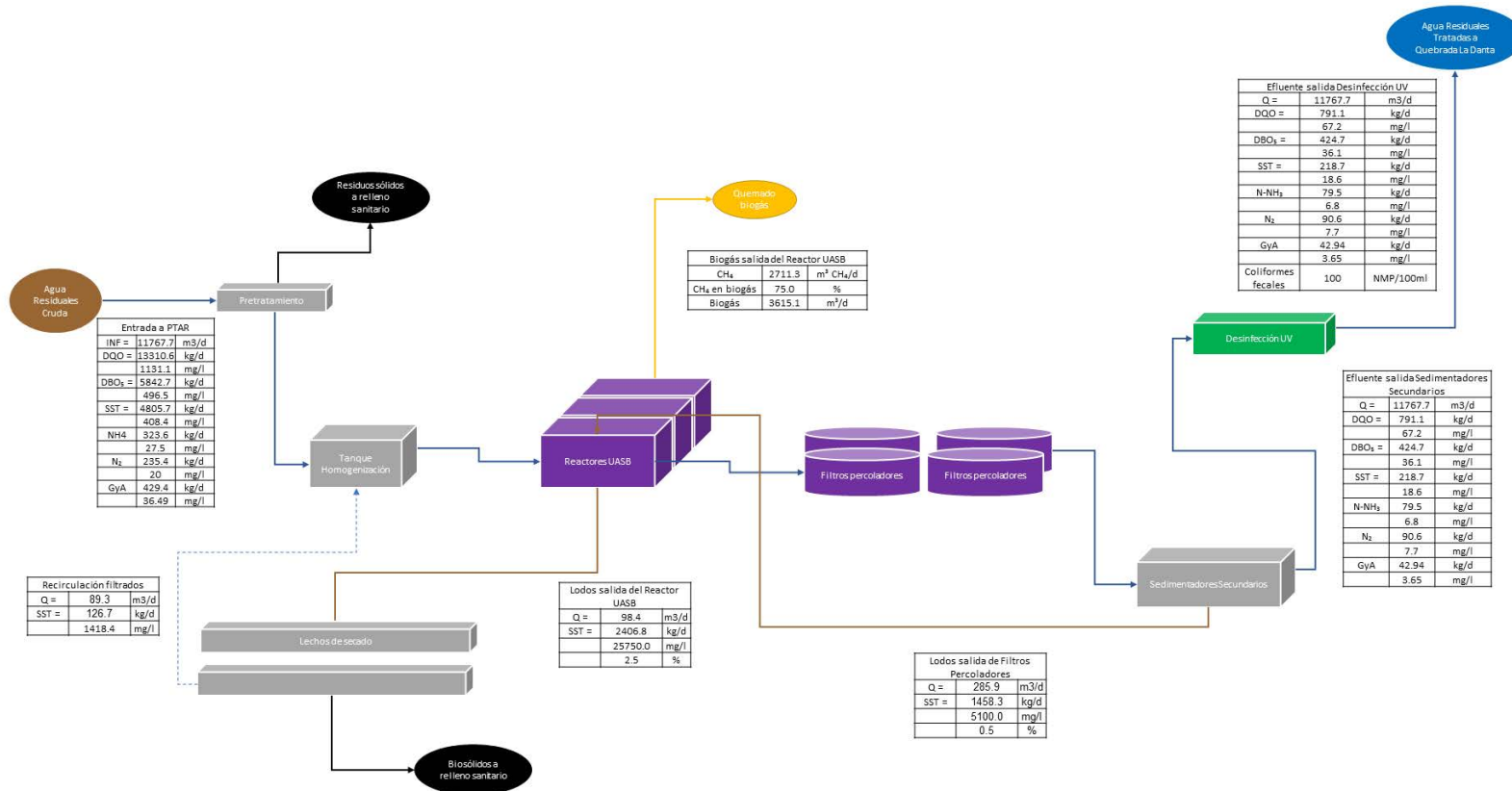


Figura 8. Balance de masas preliminar #1 del sistema de tratamiento.



## Ingreso a PTAR

El ingreso del último tramo del alcantarillado a la planta de tratamiento se ubica en el costado Norte de la propiedad, específicamente en la coordenada CRTM05 (433102,2 - 1159866,0) y en la cota 153,4 m.s.n.m. Esta cota de entrada se encuentra a 1,2 m por debajo del nivel del terreno según el levantamiento topográfico realizado.

### 1) Evaluación de las condiciones hidráulicas de ingreso a la PTAR

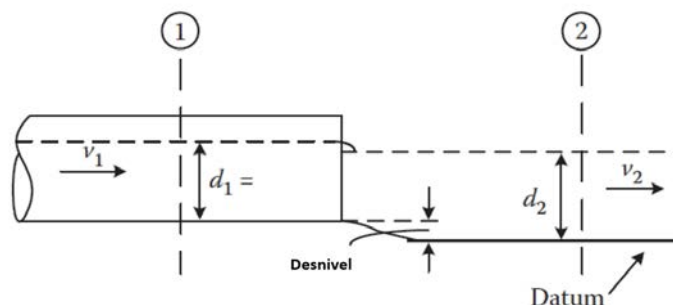


Figura 10. Ejemplo de esquema hidráulico del ingreso a la PTAR.

A partir de la ecuación de energía de Bernoulli, se definen las condiciones en el canal de ingreso a la PTAR

$$Z_1 + d_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_l$$

Donde:

$Z_1$  y  $Z_2$ : Elevaciones de las secciones 1 y 2.

$d_1$  y  $d_2$ : Altura del tirante del agua en las secciones 1 y 2.

$v_1$  y  $v_2$ : Velocidad del agua en las secciones 1 y 2.

$h_l$ : Pérdidas de carga entre las secciones 1 y 2.

En el caso de la entrada a la PTAR, las pérdidas de carga son asociadas a la expansión del área de un diámetro de tubería 450 mm a un canal de 1 m de ancho. En dichos casos, la velocidad de ingreso tiende a ser mayor a la velocidad de la sección posterior. Los coeficientes de expansión ( $k_e$ ) o reducción ( $k_c$ ) se encuentra 0,3 a 0,5 (Sotelo, 1997).

$$h_l = \frac{k_e}{2g} (v_1^2 - v_2^2)$$

A partir de los datos de diseño de alcantarillado sanitarios se observan las condiciones hidráulicas dentro de la tubería de llegada a la PTAR (Figura 11).

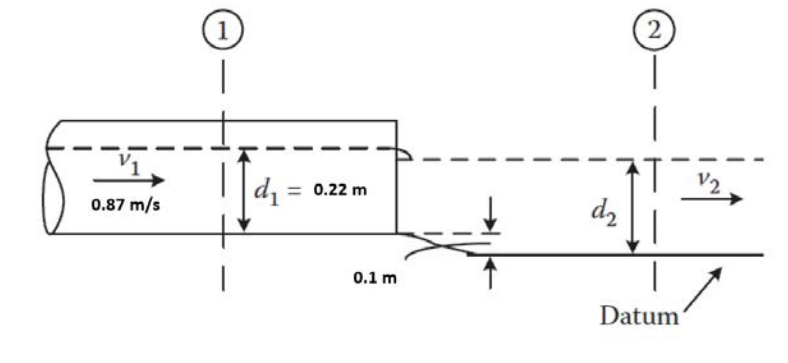


Figura 11. Esquema hidráulico del ingreso a la PTAR La Fortuna.

$$0,1m + 0,22m + \frac{(0,87 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} = d_2 + \frac{v_2^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} + \frac{0,5}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} \left( \left(0,87 \frac{m}{s}\right)^2 - v_2^2 \right)$$

$$0,36 \text{ m} = d_2 + \frac{v_2^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} + 0,0193 \text{ m} - \frac{0,5v_2^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$0,3407 \text{ m} = d_2 + \frac{v_2^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} - \frac{0,5v_2^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$0,3407 \text{ m} = d_2 + \frac{0,5v_2^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

Al realizar una sustitución de  $v_2$  por la siguiente ecuación:

$$v_2 = \frac{Q}{d_2 * W (\text{Ancho canal})} = \frac{0,254 \frac{m^3}{s}}{d_2 * 1m} = \frac{0,254 \frac{m^2}{s}}{d_2}$$

$$0,3407 \text{ m} = d_2 + \frac{0,5 \left( \frac{0,254 \frac{m^2}{s}}{d_2} \right)^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$0,3407 \text{ m} = d_2 + \frac{0,5(0,254 \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * d_2^2}$$

$$0,3407 \text{ m} = d_2 + \frac{0,001644 \text{m}^3}{d_2^2}$$

$$d_2^3 - (0,3407 \text{ m})d_2^2 + 0,001644 \text{ m}^3 = 0$$

De la solución de la ecuación se obtienen dos valores para  $d_2$ , 0,325 m y 0,0793 m. Al analizar el cálculo de la velocidad según las soluciones obtenidas, se descarta la solución 0,0793 m debido a que da una velocidad mayor a la de la sección 1, lo que no es congruente con el análisis debido a que se presenta una expansión. A partir de eso, se define la velocidad esperada en el canal:

$$v_2 = = \frac{0,254 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,325 \text{ m} * 1 \text{ m}} = 0,78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Al contar con el tirante de agua y la velocidad, se definen las condiciones del canal de ingreso para el caudal máximo utilizando la ecuación de Manning para canales abiertos. Considerando las condiciones hidráulicas de ingreso determinadas y coeficiente de rugosidad de Manning de 0,013 para el canal, se determina de la siguiente manera la pendiente del canal:

$$Q = \frac{AR^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$S = \left( \frac{Q * n}{AR^{2/3}} \right)^2 \text{ (m/m)}$$

$$S = \left( \frac{0,254 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,013}{(1\text{m} * 0,325\text{m}) \left( \frac{1 \text{ m} * 0,325 \text{ m}}{1\text{m} + (2 * 0,325 \text{ m})} \right)^{2/3}} \right)^2 \text{ (m/m)}$$

$$S = 0,001 \text{ m/m}$$

Es importante denotar que el diseño final deberá analizar los diferentes escenarios de aumento de caudal durante los años hasta el horizonte del proyecto y las condiciones hidráulicas a caudal mínimo, promedio y máximo para asegurar cumplir con las

condiciones hidráulicas en todo momento.

Por otra parte, en el Artículo bis 22 del Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 39887-S-MINAE (Así reformado por el artículo 1° del decreto ejecutivo N° 42555 del 11 de agosto del 2020) se indica que: “Para sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales ordinarias, administrados por un Ente Administrador de un Alcantarillado Sanitario (EAAS), prestatario del servicio público de saneamiento; para el caso de eventos naturales que provoquen caudales mayores al caudal máximo horario de diseño, se permitirá la construcción de canales con vertedero lateral o aliviaderos en las redes de recolección, en las estaciones de bombeo y en las plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, para el alivio temporal de dichos caudales. Estos aliviaderos no se pueden utilizar como una medida permanente para liberar la carga hidráulica ni la orgánica de las redes de recolección, estaciones de bombeo o plantas de tratamiento de aguas residuales. Estos aliviaderos deben contar con un elemento de pretratamiento para sólidos gruesos.”

A partir de lo anterior, se recomienda incluir una estructura complementaria al canal de ingreso previo al pretratamiento que permita controlar el caudal de ingreso a la PTAR ante eventos naturales que provoquen caudales mayores al caudal máximo horario de diseño, y proteger los equipos electromecánicos del pretratamiento. Para ello es necesario analizar las condiciones del sistema de alcantarillado ante un eventual escenario, las condiciones hidráulicas al llegar a la entrada de la PTAR y diseñar el aliviadero para descartar el caudal excedente. El diseño del aliviadero deberá de incluir un mecanismo de retención de sólidos gruesos como rejillas. En la Figura 12 se presenta un ejemplo de aliviadero lateral, que corresponde a un vertedero de pared gruesa que, ante un aumento de caudal atípico ante eventos naturales, evacuaría las aguas residuales a la quebrada más cercana. Otras estructuras podrían incorporarse como orificios y medios para controlar los niveles de ingreso como compuertas laterales, entre otros.

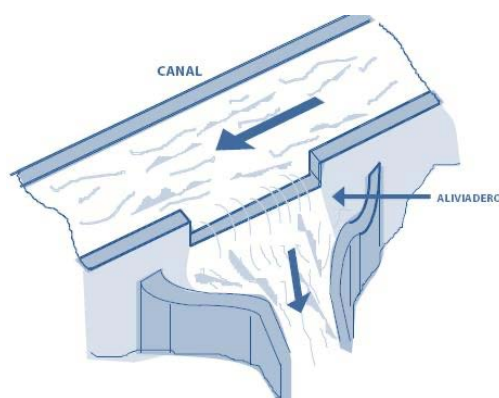


Figura 12. Ejemplo de aliviadero lateral.

## Pretratamiento

En la Tabla 19 se definen algunos criterios para la inclusión de pretratamientos mecanizados. Las condiciones de caudal máximo cumplen con las recomendaciones para velocidad de acercamiento según Tchobanoglous, Burton, & Stensel (2003). El rango de carga de sólidos de esta unidad depende de la casa matriz y sus recomendaciones para el equipo.

Tabla 19. Consideración de diseño de pretratamientos mecanizados.

Parámetro	Unidad	Valor sugerido	Referencias bibliográficas
Velocidad de máxima aproximación	m/s	0,6 - 1,0	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Velocidad de mínima aproximación	m/s	0,3 - 0,5	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Espaciamiento entre barra	mm	15 - 75	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Pérdidas de carga permisibles	m	150-600	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Tamiz rotatorio (grueso)	mm	2,5-5,0	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

La propuesta de tratamiento mecanizado cuenta con los siguientes componentes:

- Sistema mecanizado de rejillas o similar.
- Sistema de tamiz.
- Sistema de desarenador y remoción de grasas y aceites.

Tabla 20. Características generales de los equipos del sistema mecanizado del pretratamiento.

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
Rejillas mecanizadas	Número de unidades	-	2
	Modelo	-	HUBER Multi-Rake Bar Screen RakeMax®
	Tamaño de aberturas	mm	25
	Máximo caudal por unidad-	l/s	255
	Demanda energética por unidad-	kW	1,1
Tamiz rotatorio	Número de unidades	-	2
	Modelo	-	HUBER Complete Plant ROTAMAT® Ro5 240 RPPS 1400/3 4800
	Tamaño de aberturas	mm	3
	Máximo caudal por unidad-	l/s	250
	Demanda energética por unidad-	kW	1,5
Desarenadores y remoción de grasas y aceites	Número de unidades	-	2
	Modelo	-	HUBER Complete Plant ROTAMAT® Ro5 240 RPPS 1400/3 4800
	Grado separación	%	90
	Tamaño partículas	mm	≥ 0,2
	Máximo caudal por unidad-	l/s	250

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
	Demanda energética por unidad-	kw	4,52

## Tanque de Homogenización

A continuación, se detalla la memoria de cálculo sanitaria para el dimensionamiento del tanque de homogenización.

Tabla 21 Resumen de parámetros de diseño para tanque de homogenización.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Necesidades de mezcla	-	kw/m <sup>3</sup>	0,004 - 0,008	0,006	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Necesidades de aireación para la prevención de condiciones sépticas y olores	-	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *min	0,01 - 0,015	-	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

Tabla 22. Características generales de los equipos del tanque homogenización.

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
Equipo de bombeo	Número de unidades	-	3
	Modelo	-	SULZER
	Tamaño de aberturas	mm	25
	Flujo bombeo	gpm	4096
	Demanda energética por unidad-	kw	33,7
Mezcladores sumergibles	Número de unidades	-	2

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
	Modelo	-	SULZER
	Revoluciones	rpm	1800
	Demanda energética por unidad-	kW	13

El tanque de homogenización corresponde a la unidad que permite tener beneficios ante situaciones como reducción de picos de caudales y cargas orgánicas en temporadas secas, homogenización de caudales en temporada lluviosa en sistemas sanitarios que experimentan ingresos extraordinarios e infiltración, y caudales de sistemas sanitarios combinados con sistemas pluviales.

#### 1) Determinación de volumen del tanque de homogenización

El dimensionamiento del volumen del tanque de homogenización se determina mediante un diagrama de volumen acumulativo de caudal, donde los caudales acumulados son graficados en función de las horas del día. El caudal promedio es graficado e incluido en el análisis para la determinar el volumen requerido. Esto se realiza generando una línea paralela tangente a la curva acumulativa del gráfico. El volumen requerido gráficamente representaría la distancia vertical entre el punto de tangencia y la línea graficada del caudal promedio.

Para el dimensionamiento preliminar del volumen del tanque de homogenización se utilizó de referencia una curva de caudales horarios de generación de aguas residuales domésticas, esto debido a que dicho dimensionamiento debe realizarse a partir del comportamiento específico de la zona de estudio. La información de los caudales horarios fue trasladada a representación de porcentajes de caudal respecto al caudal promedio de la información de referencia, y posteriormente, dicha información fue ajustada a los caudales proyectados para el proyecto.

Mediante la siguiente expresión se determina el volumen acumulado:

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc}$$

Donde:

$V_{sc}$ : Volumen en el tanque de homogenización para el final del periodo de tiempo.

$V_{sp}$ : Volumen en el tanque de homogenización para el final del periodo anterior de tiempo.

$V_{ic}$ : Volumen de ingreso durante el tiempo actual específico.

$V_{oc}$ : Volumen de salida durante el tiempo actual específico.

En la Tabla 23 se presentan los valores de caudales horarios de aguas residuales domésticas utilizados como base para el prediseño del tanque de homogenización. En la Figura 13 se muestra gráficamente las necesidades del volumen del tanque homogenización.

Tabla 23. Información base de caudales horarios de aguas residuales municipales para dimensionamiento del tanque homogenizador.

Tiempo	Curva de caudales horario (m <sup>3</sup> /s) (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)	Representación de los caudales respecto al caudal promedio (%)	Caudal esperado PTAR Fortuna 2050	Volumen de aguas residuales (m <sup>3</sup> /h)	Volumen de aguas residuales acumulativo (m <sup>3</sup> )	Volumen a almacenar
MEDIA NOCHE - 1:00	0,275	89%	10531,1	438,8	438,8	-51,5
1:00 - 2:00	0,22	72%	8424,9	351,0	789,8	-139,3
2:00 - 3:00	0,165	54%	6318,6	263,3	1053,1	-227,0
3:00 - 4:00	0,13	42%	4978,3	207,4	1260,5	-282,9
4:00 - 5:00	0,105	34%	4021,0	167,5	1428,1	-322,8
5:00 - 6:00	0,1	33%	3829,5	159,6	1587,6	-330,8
6:00 - 7:00	0,12	39%	4595,4	191,5	1779,1	-298,8
7:00 - 8:00	0,205	67%	7850,4	327,1	2106,2	-163,2
8:00 - 9:00	0,355	116%	1359,7	566,4	2672,7	76,1
9:00 - 10:00	0,41	133%	15700,9	654,2	3326,9	240,0

Tiempo	Curva de caudales horario (m <sup>3</sup> /s) (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)	Representación de los caudales respecto al caudal promedio (%)	Caudal esperado PTAR Fortuna 2050	Volumen de aguas residuales (m <sup>3</sup> /h)	Volumen de aguas residuales acumulativo (m <sup>3</sup> )	Volumen a almacenar
10:00 - 11:00	0,425	138%	16275,3	678,1	4005,0	427,8
11:00 - MEDIO DIA	0,43	140%	16466,8	686,1	4691,1	623,6
MEDIO DIA - 1:00	0,425	138%	16275,3	678,1	5369,3	811,4
1:00 - 2:00	0,405	132%	15509,4	646,2	6015,5	967,3
2:00 - 3:00	0,385	125%	14743,5	614,3	6629,8	1091,3
3:00 - 4:00	0,35	114%	13403,2	558,5	7188,3	1159,5
4:00 - 5:00	0,325	106%	12445,8	518,6	7706,8	1187,7
5:00 - 6:00	0,325	106%	12445,8	518,6	8225,4	1216,0
6:00 - 7:00	0,33	107%	12637,3	526,6	8752,0	1252,2
7:00 - 8:00	0,365	119%	13977,6	582,4	9334,4	1344,3
8:00 - 9:00	0,4	130%	15317,9	638,2	9972,6	1492,2

Tiempo	Curva de caudales horario (m <sup>3</sup> /s) (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)	Representación de los caudales respecto al caudal promedio (%)	Caudal esperado PTAR Fortuna 2050	Volumen de aguas residuales (m <sup>3</sup> /h)	Volumen de aguas residuales acumulativo (m <sup>3</sup> )	Volumen a almacenar
9:00 - 10:00	0,4	130%	15317,9	638,2	1061,9	1640,2
10:00 - 11:00	0,38	124%	14552,0	606,3	11217,2	1756,2
11:00 - MEDIA NOCHE	0,345	112%	13211,7	550,5	11767,7	1816,3
MEDIA NOCHE - 1:00	0,275	89%	10531,1	438,8	438,8	-51,5

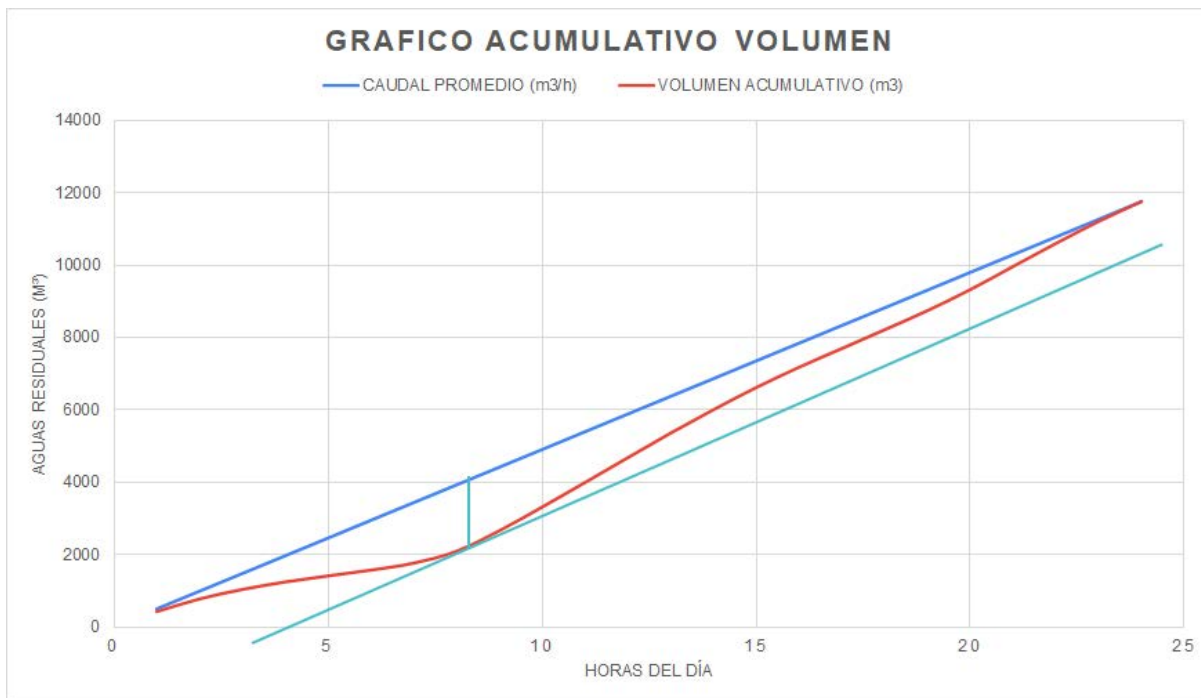


Figura 13. Gráfico acumulativo de volumen para el dimensionamiento del tanque homogenización.

Es importante mencionar que según Tchobanoglous, Burton, & Stensel (2003), en la realidad el volumen del tanque de homogenización resulta ser mayor que los cálculos teóricos debido a situaciones como el ingreso de caudales de retorno de procesos de la PTAR, y como contingencia ante eventos imprevistos en el comportamiento ordinario de caudales de ingreso. No se puede determinar un valor exacto del aumento, sin embargo, la variación respecto a los cálculos teóricos podrían variar entre un 10-20% dependiendo de las condiciones específicas.

## 2) Dimensionamiento del tanque de homogenización

Una vez definido el volumen del tanque de homogenización se propone una altura del nivel máximo del agua (h) dentro del tanque, en este caso de 3,5 m de altura.

$$\text{Área TH} = \frac{V}{h}$$

$$\text{Área TH} = \frac{2000 \text{ m}^3}{3,5 \text{ m}}$$

$$\text{Área TH} = 571 \text{ m}^2$$

Además, se propone un tanque de homogenización cuadrado para un ancho y largo útil de 23,9 m.

### 3) Dimensionamiento de los requerimientos de mezcla

Según Tchobanoglous, Burton, & Stensel (2003) los procesos de mezcla dentro de los tanques de homogenización son fundamentales para promover una ecualización adecuada de las aguas residuales y prevenir la deposición de sólidos dentro del tanque de almacenamiento. A partir de la selección del factor de mezcla  $0,006 \text{ kW/m}^3$ , se realiza la estimación de la capacidad de los requeridos para la mezcla de las aguas residuales como se muestra a continuación.

$$\text{Capacidad de equipos requeridos de mezcla} = 2000 \text{ m}^3 * \frac{0,006 \text{ kW}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Capacidad de equipos requeridos de mezcla} = 12 \text{ kW}$$

## Reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB)

A continuación, se detalla la memoria de cálculo sanitaria para el dimensionamiento de los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB).

Tabla 24. Parámetros de diseño para reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Carga hidráulica volumétrica	CHV	$\text{m}^3/\text{m}^3 * \text{d}$	0,0 - 5,0	3	(Sperling, 2007)
Tiempo detención hidráulico (Q med)	TDH	h	8,0 - 10,0	-	(Sperling, 2007)
Tiempo detención hidráulico (Q max)	TDH	h	> 4	-	(Sperling, 2007)
Carga orgánica volumétrica	COV	$\text{kg DQO} / \text{m}^3 * \text{d}$	2,5 - 3,5	3	(Sperling, 2007)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Factor efectividad (Fracción ocupada por microorganismos)	$F_{mo}$	-	0,8 - 0,9	0,85	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Velocidad ascensional (Q med)	$V_{asc}$	m/h	0,5 - 0,7	0,55	(Sperling, 2007)
Velocidad ascensional (Q max)	$V_{asc}$	m/h	< 0,9 - 1,1	-	(Sperling, 2007)
Altura espacio de zona de digestión y separador de biogás	$h_2$	m	0,5	0,5	(Qasim, S., & Zhu, G, 2018).
Altura de sedimentación	$h_3$	m	1,5 - 2,0	1,65	(Qasim, S., & Zhu, G, 2018). (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Eficiencia remoción DQO	-	%	60 - 75	-	(Sperling, 2007)
Eficiencia remoción DBO <sub>5</sub>	-	%	60 - 75	65%	(Sperling, 2007)
Eficiencia remoción NH <sub>4</sub>	-	%	< 50	30	(Sperling, 2007)
Eficiencia remoción N <sub>2</sub>	-	%	< 50	30	(Sperling, 2007)
Eficiencia remoción SST	-	%	65 - 80	65	(Sperling, 2007)
Velocidad en tubería de distribución	$V_{td}$	m/s	< 2	-	(Sperling, 2007)
Diámetro tuberías de distribución	$D_{td}$	mm	75 - 100	100	(Sperling, 2007)
Área de influencia por tubería de distribución	$A_i$	m <sup>2</sup>	1,5 - 3,0	2,55	(Sperling, 2007)
Coefficiente de producción de lodos en término de DQO	$Y_{lDQO}$	kg DQO lodo/kg DQO aplicada	0,11 - 0,23	0,15	(Sperling, 2007)
Tasa mínima de liberación de biogás	$Y_{bmin}$	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	>1	-	(Sperling, 2007)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Tasa máxima de liberación de biogás	$Y_{bmax}$	$m^3/m^2h$	3 - 5	-	(Sperling, 2007)
Velocidad en aperturas hacia compartimiento de sedimentación ( $Q_{med}$ )	$V_{ap,med}$	m/h	< 2,0 - 2,3	-	(Sperling, 2007)
Velocidad en aperturas hacia compartimiento de sedimentación ( $Q_{max}$ )	$V_{ap,max}$	m/h	< 4,0 - 4,2	-	(Sperling, 2007)
Coefficiente de producción de lodos	YI	kg DQO lodo/kg DQO aplicada	0,10 - 0,20	0,15	(Sperling, 2007)

El cálculo del volumen del reactor se realiza de dos maneras:

- 1) Determinación de volumen de digestión en función de la carga hidráulica volumétrica

Según Sperling (2007), se ha demostrado que la carga hidráulica volumétrica (CHV) no debe exceder los  $5 m^3/m^3 \cdot d$ , por lo que, en el presente prediseño, se selecciona un valor de  $3 m^3/m^3 \cdot d$  como punto de partida. En función de este valor y del caudal promedio ( $Q_{med}$ ), se calcula el volumen del reactor ( $V$ ) como se muestra a continuación.

$$V = \frac{Q_{med}}{CHV}$$

$$V = \frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{3 \frac{m^3}{m^3 d}}$$

$$V = 3922,6 m^3$$

Seguidamente, se calcula el tiempo de detención hidráulico (TDH) en función del caudal promedio ( $Q_{med}$ ) y caudal máximo ( $Q_{max}$ ). Sperling (2007) menciona que este debe estar entre 8 y 10 horas cuando se calcula en función del caudal promedio; y no debe

ser menor a 4 horas en el caso del caudal máximo.

$$TDHQ_{med} = \frac{V}{Q_{med}} \cdot 24$$

$$TDHQ_{med} = \frac{3922,6 \text{ m}^3}{11767,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \cdot 24$$

$$TDH_{med} = 8 \text{ h}$$

Por lo tanto, se confirma que el criterio en función del caudal promedio se cumple correctamente.

$$TDH_{max} = \frac{V}{Q_{max}} \cdot 24$$

$$TDH_{max} = \frac{3922,6 \text{ m}^3}{21945,6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \cdot 24$$

$$TDH_{max} = 4,3 \text{ h}$$

En el caso del cálculo en función del caudal máximo, el criterio se cumple correctamente.

## 2) Determinación de volumen de digestión en función de la carga hidráulica volumétrica

Sperling (2007) indica que es recomendable aplicar una carga orgánica volumétrica (COV) entre 2,5 y 3,5 kg DQO/m<sup>3</sup>d, por tanto, se elige una de 3 kg DQO/m<sup>3</sup>d para el diseño. Este valor, junto con la DQO de diseño (DQOd), se utilizan para calcular el volumen del reactor (V) de la siguiente manera.

$$V = \frac{DQOd}{COV}$$

$$V = \frac{13\,310,60 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{3,0 \frac{\text{kgDQO}}{\text{m}^3\text{d}}}$$

$$V = 4436,9 \text{ m}^3$$

A partir del análisis anterior, se define el volumen de digestión como 4436,9 m<sup>3</sup> como factor de seguridad, cumpliendo con ambos criterios.

Una vez definido el volumen de digestión, se aplica un factor de efectividad (f) de 0,85 según el criterio de Tchobanoglous, Burton & Stensel (2003), el cual representa en términos generales, el porcentaje de volumen de digestión ocupado por los microorganismos. Se calcula el volumen total del reactor (V<sub>r</sub>).

$$V_r = \frac{V}{f}$$

$$V_r = \frac{4436,9 \text{ m}^3}{0,85}$$

$$V_r = 5219,8 \text{ m}^3$$

Realizando la verificación de los valores de tiempo de detención hidráulico (TDH) de la misma manera que se calculó en las ecuaciones 2 y 3, pero esta vez utilizando el volumen digestión total del reactor, se determina que con el caudal medio el tiempo resulta de 10,6 h y con caudal máximo de 5,7 h, por lo tanto, cumple correctamente. En el caso del caudal medio se obtiene un tiempo detención 0,6 h superior al parámetro de diseño, sin embargo, el tiempo de detención necesario varía en función de la temperatura en las condiciones del sitio y este podría ser mayor. Un mayor tiempo de detención implica una mayor estadía del agua residual y, por ende, un mayor grado de tratamiento de esta.

Se decide diseñar 3 reactores en paralelo, por lo que cada uno cuenta con un volumen de digestión de 1739,9 m<sup>3</sup>. Cada reactor cuenta con 2 módulos.

### 3) Determinación del área requerida por el reactor anaerobio

Sperling (2007) indica que la velocidad ascensional (V<sub>asc</sub>), según el caudal promedio (Q<sub>med</sub>), debería encontrarse entre 0,5 y 0,7 m/h. Para efectos del presente diseño, se selecciona una de 0,55 m/h y se calcula el área de los reactores (A) de la siguiente manera.

$$A = \frac{\frac{Q_{med}}{3}}{V_{asc}}$$

$$A = \frac{\frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{24 \text{ h} \cdot 3}}{0,533 \frac{m}{h}}$$

$$A = 306,6 \text{ m}^2$$

Se propone un ancho útil de 16,8 m y un largo útil de 18,2 m.

De igual manera, se verifica el cumplimiento del criterio de velocidad ascensional en función del caudal máximo.

$$Va = \frac{Q_{max}}{A}$$

$$Va = \frac{\frac{21945,6 \frac{m^3}{d}}{24 \cdot 3}}{306,6 \text{ m}^2}$$

$$Va = 0,99 \frac{m}{h}$$

Se verifica que se cumple correctamente con la velocidad ascensional en caso de ingresar el caudal máximo horario previsto.

A continuación, se calcula la altura de compartimento de digestión (H) del reactor de la siguiente manera.

$$H = \frac{V}{A} \quad (8)$$

$$H = \frac{1739,9 \text{ m}^3}{306,6 \text{ m}^2}$$

$$H = 5,70 \text{ m}$$

Y se establecen las siguientes alturas, según lo recomendado por Qasim & Zhu (2018):

- Altura entre zona de lodos y separados gas-sólidos ( $h_1$ ): 0,5 m
- Altura zona de sedimentación ( $h_2$ ): 1,65 m
- Altura de canaletas + borde libre ( $h_3$ ): 0,75 m

De este modo, se calcula la altura del reactor (Hr).

$$Hr = H + h_1 + h_2 + h_3$$

$$Hr = 5,70 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 1,65 \text{ m} + 0,75 \text{ m}$$

$$Hr = 8,6 \text{ m}$$

Considerando un reactor rectangular, con un ancho útil de 16,8 m (A) y el área previamente calculada, se determina que el largo útil del reactor de 18,2 m (L).

#### 4) Determinación de la eficiencia teórica de la remoción de contaminantes por los reactores UASB

Sperling (2007) plantea una propuesta para el cálculo de las eficiencias en la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> en función del tiempo de detención hidráulico.

En primer lugar, se calculan las eficiencias teóricas de DQO ( $E_{DQO}$ ) y DBO ( $E_{DBO}$ ), establecidas por Sperling (2007).

$$E_{DQO} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot TDHmed^{-0.35})$$

$$E_{DQO} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot 10,6^{-0.35})$$

$$E_{DQO} = 70,28 \%$$

$$E_{DBO} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot TDHmed^{-0.50}) \quad (11)$$

$$E_{DBO} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot 10,6^{-0.50})$$

$$E_{DBO} = 78,5 \%$$

Se observa que mediante el tiempo de detención hidráulico se esperaría una eficiencia teórica del 78,5%. Sin embargo, se asume una  $E_{DBO}$  de 65%, para mantener un margen de seguridad y encontrándose dentro del rango establecido por Sperling (2007). Seguidamente, se calculan la DBO y DQO del efluente (DBO<sub>e</sub> y DQO<sub>e</sub>, respectivamente), en función de las eficiencias previamente calculadas y las concentraciones del afluente (DBO<sub>a</sub> y DQO<sub>a</sub>).

$$DQO_e = DQO_a - \frac{E_{DQO}}{100} \cdot DQO_a$$

$$DQOe = 1131,1 \frac{mg}{L} - \frac{70,28}{100} \cdot 1131,1 \frac{mg}{L}$$

$$DQOe = 336,1 \frac{mg}{L}$$

$$DBOe = DBOa - \frac{E_{DBO}}{100} \cdot DBOa$$

$$DBOe = 496,5 \frac{mg}{L} - \frac{65}{100} \cdot 496,5 \frac{mg}{L}$$

$$DBOe = 173,8 \frac{mg}{L}$$

Sperling (2007) indica que las eficiencias de remoción de  $NH_4$ ,  $N_2$  y SST son menos de 50%, menos de 60% y entre 65%-80%, respectivamente. Por tanto, se eligen en el diseño eficiencias de 30%, 30% y 65%. De este modo, se calculan los valores de efluente.

$$NH_{4,e} = NH_{4,a} - \frac{E_{NH_4}}{100} \cdot NH_{4,a}$$

$$NH_{4,e} = 27,5 \frac{mg}{L} - \frac{30}{100} \cdot 27,5 \frac{mg}{L}$$

$$NH_{4,e} = 19,3 \frac{mg}{L}$$

$$N_{2,e} = N_{2,a} - \frac{E_{N_2}}{100} \cdot N_{2,a}$$

$$N_{2,e} = 20 \frac{mg}{L} - \frac{30}{100} \cdot 20 \frac{mg}{L}$$

$$N_{2,e} = 14 \frac{mg}{L}$$

$$TKNe = NH_{4,e} + N_{2,e}$$

$$TKNe = 19,3 \frac{mg}{L} + 14 \frac{mg}{L}$$

$$TKNe = 33,3 \frac{mg}{L}$$

$$SSTe = SSTa - \frac{E_{SST}}{100} \cdot SSTa$$

$$SSTe = 408,4 \frac{mg}{L} - \frac{70}{100} \cdot 408,4 \frac{mg}{L}$$

$$SSTe = 122,5 \frac{mg}{L}$$

$$Pe = Pa - \frac{E_P}{100} \cdot Pa$$

$$Pe = 7 \frac{mg}{L} - \frac{25}{100} \cdot 7 \frac{mg}{L}$$

$$Pe = 5,3 \frac{mg}{L}$$

#### 5) Determinación de la distribución de tuberías para el ingreso del caudal dentro del reactor anaerobio

Sperling (2007) indica que la velocidad en las tuberías de distribución ( $V_t$ ) no debe exceder 0,2 m/s. Asimismo, establece que el diámetro de dichas tuberías ( $D$ ) debe medir entre 72 y 100 mm; y que el área de influencia por tubería de distribución ( $A_i$ ) debe encontrarse entre 1,5 y 3,0 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, para efectos del prediseño se selecciona un diámetro de 100 mm y un área de influencia de 2,5 m<sup>2</sup>. De esta manera, se calcula la cantidad de tuberías ( $T$ ) y la velocidad ( $V_t$ ) en estas.

$$T = \frac{A}{A_i}$$

$$T = \frac{306,6 \text{ m}^2}{2,55 \text{ m}^2}$$

$$T = 120,3 \text{ tubos}$$

Se propone una cantidad de 120 tubos para distribuir el caudal dentro del reactor, esto teniendo un reajuste en el área de influencia por tubería a 2,55 m<sup>2</sup>.

$$V_t = \frac{\frac{Q_{med}}{3 \cdot T}}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$Vt = \frac{\frac{136,2 \frac{L}{s}}{1000}}{3 \cdot 120} \cdot \pi \cdot \left(\frac{100 \text{ mm}}{1000 \cdot 2}\right)^2$$

$$Vt = 0,05 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto, se cumple con el criterio de la velocidad dentro de la tubería previamente mencionado.

#### 6) Determinación de la generación de biogás dentro del reactor anaerobio

Sperling establece que el coeficiente de producción de lodos ( $Y_{DQO}$ ) se encuentra entre 0,11 y 0,23 kg DQO lodo/kg DQO aplicada. Se selecciona un valor de 0,15 kg DQO lodo/kg DQO aplicada en este diseño. Posteriormente, se calcula la carga de DQO que se convierte a metano (DQOmetano).

$$DQO_{metano} = Q_{med} \cdot (DQOa - DQOe) - Y_{DQO} \cdot Q_{med} \cdot DQOa$$

$$DQO_{metano} = 11767,7 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{(1131,1 \frac{mg}{L} - 336,1 \frac{mg}{L})}{1000} - 0,15 \frac{kg \text{ DQO lodo}}{kg \text{ DQO aplicada}} \cdot 11767,7 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1131,1 \frac{mg}{L}}{1000}$$

$$DQO_{metano} = 7358,6 \frac{DQO_{metano}}{d}$$

Seguidamente, se calcula un factor de corrección por temperatura ( $f_T$ ), la cual es 25°C (T), y considerando la presión atmosférica (P),  $K_{DQO}$  y la constante de gases ideales (R), se obtiene:

$$f_T = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R \cdot (273,15 + T)}$$

$$f_T = \frac{1 \text{ atm} \cdot 64 \frac{g \text{ DQO}}{\text{mol}}}{0,08206 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot (273,15 + 25^\circ\text{C})}$$

$$f_T = 2,6 \frac{kg \text{ DQO}}{m^3}$$

A continuación, se calcula la cantidad de metano esperada (CH<sub>4</sub>).

$$CH_4 = \frac{DQO_{metano}}{f_T}$$

$$CH_4 = \frac{7358,6 \frac{DQO_{metano}}{d}}{2,6 \frac{kgDQO}{m^3}}$$

$$CH_4 = 2813,1 \frac{m^3}{d}$$

Considerando que la fracción de metano en el biogás es 75%, utilizando el criterio de Sperling (2007), se establece la producción de biogás (B).

$$B = \frac{CH_4}{\frac{75}{100}}$$

$$B = \frac{2813,1 \frac{m^3}{d}}{\frac{75}{100}}$$

$$B = 3750,8 \frac{m^3}{d}$$

#### 7) Determinación de la tasa de liberación de biogás en el reactor anaerobio

Se establecen 2 módulos por reactor, 6 colectores de biogás por módulo; por tanto, en total cada reactor cuenta con 12 colectores de biogás. Se sabe que el ancho útil del reactor es 16,8 m, por lo tanto, la longitud total de los colectores es de 101,1 m. Se define, además, que el ancho de los colectores es de 0,4 m, lo que da un área total de colectores de 40,4 m<sup>2</sup> (Ac). Sperling (2007) establece que la tasa mínima de liberación de biogás (Yb) debe ser 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h. La tasa de liberación de biogás se calcula a continuación.

$$Yb = \frac{B}{Ac}$$

$$Yb = \frac{3750,8 \frac{m^3}{d}}{40,4 m^2}$$

$$Yb = 3,9 \frac{m^3}{m^2 h}$$

Por lo tanto, cumple correctamente con los rangos de tasa liberación mínima y máxima.

8) Determinación de las velocidades ascensionales entre las aperturas a compartimientos de sedimentación del reactor anaerobio

Se definen 2 aperturas simples ( $A_s$ ) y 5 aperturas dobles ( $A_d$ ) por módulo y, sabiendo que el ancho útil del reactor es 16,85 m ( $A$ ), se calcula la longitud total de aperturas ( $L_a$ ).

$$L_a = (A_s + (A_d \cdot 2)) \cdot A$$

$$L_a = (2 + (5 \cdot 2)) \cdot 16,85 \text{ m}$$

$$L_a = 202,2 \text{ m}$$

Considerando un ancho de apertura de 0,4, se establece un área total de apertura ( $A_a$ ) de 80,9 m<sup>2</sup>.

Para calcular la velocidad a través de las aperturas ( $V_{ap}$ ), se necesitan los datos de caudal promedio ( $Q_{med}$ ), caudal máximo ( $Q_{max}$ ), cantidad de reactores (3) y el área total de apertura ( $A_a$ ). Este cálculo se hace en función de ambos caudales para confirmar con los criterios establecidos por Sperling (2007).

$$V_{ap, med} = \frac{Q_{med}}{3 A_a}$$

$$V_{ap, med} = \frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{3 \cdot 80,9 \text{ m}^2}$$

$$V_{ap, med} = 2,0 \frac{m}{h}$$

$$V_{ap, max} = \frac{Q_{max}}{3 A_a}$$

$$V_{ap, max} = \frac{21945,6 \frac{m^3}{d}}{80,9 \text{ m}^2}$$

$$V_{ap, max} = 3,8 \frac{m}{h}$$

Por tanto, ambas velocidades cumplen con los rangos en las aperturas para caudal medio y caudal máximo.

#### 9) Determinación de las velocidades ascensionales en los compartimientos de sedimentación del reactor anaerobio

Se definen 6 compartimientos de sedimentación de 16,25 m de ancho por reactor, dicho valor contempla el ancho total del reactor menos las canaletas centrales de recolección de cada módulo que corresponde a 0,3 m por canaleta para un total de 0,6 m. Por otra parte, la longitud efectiva por compartimiento es de 2,61 m. El compartimiento efectivo se definió con el ancho de compartimiento, menos el ancho ocupado por los colectores de biogás.

El producto del ancho efectivo y la longitud total es de 254,78 m<sup>2</sup>. Esto corresponde al área por compartimento (Aco).

Se calcula la velocidad por compartimento (Vc), en función del caudal medio (Qmed) y máximo (Qmax).

$$V_{c, med} = \frac{Q_{med}}{A_{co}}$$

$$V_{c, med} = \frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{3 \cdot 24h \cdot 254,78 \text{ m}^2}$$

$$V_{c, med} = 0,6 \text{ m/h}$$

$$V_{c, max} = \frac{Q_{max}}{3 \cdot 24 \cdot A_{co}}$$

$$V_{c, max} = \frac{21945,6 \frac{m^3}{d}}{3 \cdot 24h \cdot 254,78 \frac{m^2}{d}}$$

$$V_{c, max} = 1,2 \text{ m/h}$$

Según los criterios de Sperling (2007), ambas velocidades cumplen con los criterios definidos.

#### 10) Determinación de la producción de lodos de los reactores anaerobios

Sperling (2007) indica que el coeficiente de producción de lodos (YI) se encuentra entre 0,1 y 0,2 kg SST/kg DQO. Para efectos del diseño, se establece 0,15 kg SST/kg DQO. Esto permite calcular la producción de sólidos (Ps), la cual se muestra a continuación.

$$P_s = Y_s \cdot DQO \text{ aplicada}$$

$$P_s = 0,15 \frac{kg \text{ SST}}{kg \text{ DQO}} \cdot \left( \frac{(1131,1 \frac{mg}{L} - 336,1 \frac{mg}{L}) * 11767,7 \frac{m^3}{d}}{1000} \right)$$

$$P_{s1} = 1403,3 \frac{kg \text{ SST}}{d}$$

Considerando una densidad de lodo de 1030 kg/m<sup>3</sup> (d) (Sperling, 2007) y una concentración de sólidos (Cs) del 2,5% (Sperling, 2007), se calcula el volumen de lodos (Vl).

$$V_l = \frac{P_s}{d \cdot \frac{C_s}{100}}$$

$$V_l = \frac{1403,3 \frac{kg \text{ SST}}{d}}{1030 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{2,5}{100}}$$

$$V_l = 54,5 \frac{m^3}{d}$$

Es importante indicar que los lodos de descarte o exceso de los reactores UASB serán enviados directamente al proceso de deshidratación mediante un pozo de bombeo, esto

debido a que se consideran lodos digeridos, estabilizados y concentrados dentro de los reactores UASB (Sperling, 2007).

Por otra parte, los lodos generados en los filtros percoladores que son capturados en los sedimentadores secundarios, se consideran lodos que aún no están digeridos en su totalidad o parcialmente digeridos (Sperling, 2007). Estos lodos requieren de un proceso de estabilización, por lo cual, como propuesta para la simplificación de procesos y aprovechamiento de unidades de tratamiento, se plantea incorporar dichos lodos a los reactores UASB. En los reactores se estaría realizando el proceso de estabilización y concentración de lodos.

En el apartado de filtros percoladores de detalla el cálculo de los lodos generados, obteniendo como resultado:

$$Ps2 = 1454,3 \frac{kg SST}{d}$$

Como son lodos parcialmente digeridos, se asume que los sólidos suspendidos volátiles representan un 75% de los SST para un total de 1093,7 kg SSV/d. Durante el proceso de estabilización se asume una reducción de un 30% de los sólidos suspendidos volátiles convirtiéndolos en biogás. Finalmente, la cantidad de lodo que se esperaría considerar como lodo de descarte sería de 1130,2 kg SST/d.

Realizando nuevamente el cálculo de lodos de descarte de los reactores UASB, considerando una densidad de lodo de 1030 kg/m<sup>3</sup> (d) y una concentración de sólidos (Cs) del 2,5%, se calcula el volumen de lodos (Vl).

$$Vl = \frac{Ps1 + Ps2}{d \cdot \frac{Cs}{100}}$$

$$Vl = \frac{2533,4 \frac{kg SST}{d}}{1030 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{2,5}{100}}$$

$$Vl = 98,4 \frac{m^3}{d}$$

Al incorporar lodos provenientes de sedimentadores secundarios de filtros percoladores es muy importante asegurar ciertos controles de operación para evitar problemas de operación y afectación a la calidad del efluente tratado.

Entre las principales actividades para mantener condiciones adecuadas de operación se cuenta con (Chernicharo, y otros, 2018):

- Preservación del lodo con mejor calidad en el fondo de los reactores UASB.
- Operación de bajas concentraciones de lodo en la parte superior de los compartimientos de digestión de los reactores UASB.
- Operación de bajas concentraciones de lodos en los sedimentadores secundarios para ser incorporados en los reactores UASB (Concentraciones de los lodos no deben superar el 1%).
- Establecimiento del periodo y caudal de envío de lodos aerobios a los reactores UASB.

## Filtros percoladores

A continuación, se detalla la memoria de cálculo sanitaria para el dimensionamiento de los filtros percoladores.

Tabla 25. Resumen de parámetros de diseño para filtros percoladores.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Carga hidráulica	CHV	$m^3 / m^2 * d$	3,5 - 10,0	5	(Sperling, 2007) (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Carga orgánica volumétrica	COV	$kg DQO / m^3 * d$	0,2 - 0,5	0,35	(Sperling, 2007) (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Recirculación de efluente	$Q_r$	$m^3/d$	0 - 1	0	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Altura del lecho filtrante	$h_f$	m	1,8 - 2,5	-	(Sperling, 2007)
Altura del lecho filtrante a los aspersores de los brazos del distribuidor rotatorio	$h_{fl-dr}$	mm	150 - 225	225	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Eficiencia remoción DQO	-	%	80 - 90	80	(Sperling, 2007)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Eficiencia remoción DBO <sub>5</sub>	-	%	50 - 80	-	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Eficiencia remoción NH <sub>4</sub>	-	%	65 - 85	65	(Sperling, 2007)
Eficiencia remoción N <sub>2</sub>	-	%	<60	45	(Sperling, 2007)
Eficiencia remoción SST	-	%	87 - 93	87	(Sperling, 2007)
Diámetro material filtrante (Piedra)	D <sub>mf</sub>	cm	2,5 - 7,5	-	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Coefficiente de producción de lodos	YI	kg DQO lodo/kg DBO <sub>5</sub> aplicada	0,8 - 1,0	0,9	(Sperling, 2007)
Dosificación de Operación de filtro	-	mm/pass	15-45	30	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Dosificación de Lavado de filtro	-	mm/pass	> 200	250	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Área de drenaje de losa entrepiso	-	%	>15	15	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)
Pendiente drenajes	-	%	1 - 5	3	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) (Qasim, S., & Zhu, G, 2018).
Velocidad mínima en canales de drenaje	-	m/s	>0,6	1,1	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) (Qasim, S., & Zhu, G, 2018).
Área de ventilación	-	m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup>	>0,4	0,5	(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) (Qasim, S., & Zhu, G, 2018).

Tabla 26. Características generales de los equipos de los filtros percoladores-

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
Equipo de distribución rotatorio	Número de unidades	unidad	4
	Modelo	-	Enexio Water Technologies
	Cantidad de brazos distribución	unidad	4
	Demanda energética por unidad-	kW	0,15

### 1) Determinación del área requerida por los filtros percoladores

Sperling (2007) indica que la carga hidráulica volumétrica (CHV) para el diseño de un filtro percolador de tasa intermedia debe estar entre 3,5 y 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d, por lo que para el presente diseño se selecciona un valor de 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d. Utilizando este valor y el caudal medio (Qmed), se calcula el área requerida del filtro (Aft) de la siguiente manera.

$$A_{ft} = \frac{Q_{med}}{CHV}$$

$$A_{ft} = \frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{5 \frac{m^3}{m^2 d}}$$

$$A_{ft} = 2354 m^2$$

De este modo, se utiliza la misma fórmula para comprobar la carga hidráulica con el caudal máximo (Qmax) utilizando el área previamente calculada, obteniendo un resultado de 9,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d, la cual se encuentra dentro del rango definido en el criterio de Sperling (2007).

Se proponen en total 4 filtros percoladores, por lo tanto, cada uno cuenta con un área de 588 m<sup>2</sup> (Af). El diámetro de cada filtro (Df) se calcula a continuación.

$$D_f = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_f}{\pi}}$$

$$Df = 2 \cdot \sqrt{\frac{588 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$Df = 27,4 \text{ m}$$

## 2) Determinación del volumen del material filtrante por los filtros percoladores

Con base en la carga orgánica volumétrica (COV) se puede calcular el volumen de lecho en cada filtro percolador ( $V_{lf}$ ). Sperling (2007) propone que esta debe encontrarse entre 0,2 y 0,5 kg DBO/m<sup>3</sup>d, por lo que se selecciona una de 0,35 kg DBO/m<sup>3</sup>d para el diseño.

$$V_{lf} = \frac{Q_{med} \cdot DBO_e}{COV}$$

$$V_{lf} = \frac{\frac{11767,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 173,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1000}}{0,35 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3 \text{d}}}$$

$$V_{lf} = 1461 \text{ m}^3$$

Con el volumen y el área se puede calcular la altura de lecho filtrante ( $h_f$ ), la cual corresponde a 2,5 m. Altura dentro de los criterios de diseño definidos.

## 3) Determinación de la eficiencia teórica de la remoción de contaminantes por los filtros percoladores

Tchobanoglous, Burton & Stensel (2003) establecen que la altura entre el fondo de la tubería de distribución y el lecho filtrante ( $h_{fl}$ ), debe ser entre 150 y 225 mm, por lo que se elige una altura de 225 mm. Además, con base en las recomendaciones de los autores se selecciona una relación de recirculación del efluente ( $Q_r$ ) de 0, de modo que se pueda calcular el factor de recirculación ( $fr$ ), como se muestra en la ecuación 34.

$$fr = \frac{1 + r}{\left(1 + \frac{r}{10}\right)^2}$$

$$fr = \frac{1 + 0}{\left(1 + \frac{0}{10}\right)^2}$$

$$fr = 1$$

Con base en la fracción de recirculación y la COV se estimar la eficiencia teórica de remoción de DBO teórica, tal y como se muestra a continuación.

$$E_{DBO} = 100 \cdot \frac{1}{1 + 0,443 \cdot \sqrt{\frac{COV}{fr}}}$$

$$E_{DBO} = 100 \cdot \frac{1}{1 + 0,443 \cdot \sqrt{\frac{0,35 \frac{kgDBO}{m^3d}}{1}}}$$

$$E_{DBO} = 79,2\%$$

A partir de la estimación anterior, se determina la DBO del efluente del filtro percolador (DBOef), que es 36,1 mg/L.

Seguidamente, se calcula la DQO del efluente en función de las eficiencias teóricas definidas por Sperling (2007) y las concentraciones del afluente (DBOa y DQOa).

$$DQOe = DQOa - \frac{E_{DQO}}{100} \cdot DQOa$$

$$DQOe = 336,1 \frac{mg}{L} - \frac{80}{100} \cdot 336,1 \frac{mg}{L}$$

$$DQOe = 67,2 \frac{mg}{L}$$

Sperling (2007) indica que las eficiencias de remoción de  $NH_4$ ,  $N_2$  y SST son de 65-80%, menos de 60% y entre 85%-93%, respectivamente. Por tanto, se eligen en el diseño eficiencias de 65%, 45% y 87%. De este modo, se calculan los valores de efluente.

$$NH_{4,e} = NH_{4,a} - \frac{E_{NH_4}}{100} \cdot NH_{4,a}$$

$$NH_{4,e} = 19,3 \frac{mg}{L} - \frac{65}{100} \cdot 19,3 \frac{mg}{L}$$

$$NH_{4,e} = 6,76 \frac{mg}{L}$$

$$N_{2,e} = N_{2,a} - \frac{E_{N_2}}{100} \cdot N_{2,a}$$

$$N_{2,e} = 14 \frac{mg}{L} - \frac{45}{100} \cdot 14 \frac{mg}{L}$$

$$N_{2,e} = 7,7 \frac{mg}{L}$$

$$TKNe = NH_{4,e} + N_{2,e}$$

$$TKNe = 6,76 \frac{mg}{L} + 7,7 \frac{mg}{L}$$

$$TKNe = 14,46 \frac{mg}{L}$$

$$SSTe = SSTa - \frac{E_{SST}}{100} \cdot SSTa$$

$$SSTe = 122,5 \frac{mg}{L} - \frac{87}{100} \cdot 122,5 \frac{mg}{L}$$

$$SSTe = 15,9 \frac{mg}{L}$$

$$Pe = Pa - \frac{E_P}{100} \cdot Pa$$

$$Pe = 5,3 \frac{mg}{L} - \frac{25}{100} \cdot 5,3 \frac{mg}{L}$$

$$Pe = 3,9 \frac{mg}{L}$$

#### 4) Determinación de las condiciones de operación del sistema de distribución rotatorio

Se puede calcular el caudal por filtro ( $Q_f$ ), tal y como se muestra en la ecuación siguiente.

$$Q_f = \frac{Q_{med}}{\frac{4}{A_f}}$$

$$Qf = \frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{4 \cdot 1000} \\ 588 m^2$$

$$Qf = 0,21 \frac{m^3}{m^2 h}$$

Además, se selecciona una dosis de operación de 30 mm/pass (“mm/pass” representa la cantidad de líquido aplicado por cada paso de cada brazo de distribución) y de lavado de 250 mm/pass, ambas elegidas según las recomendaciones de Tchobanoglous, Burton & Stensel (2003), 4 brazos de dispersión, una velocidad de distribución de lavado de 288 min/rev y una velocidad de distribución en operación normal de 34,6 min/rev.

#### 5) Determinación de los drenajes de los filtros percoladores

Tchobanoglous, Burton & Stensel (2003) establecen que el área de drenaje de losa entre el lecho filtrante y el canal de drenaje (Alc) debe ser al menos un 15% del área superficial total del filtro, por lo que se selecciona este un valor de 30% para el prediseño; por tanto, dicha área corresponde a 176,4 m<sup>2</sup>.

La pendiente del piso de los drenajes al canal de reunión y transporte de aguas tratadas debe ser de 1 a 5%, por lo que para el diseño se elige una pendiente de 3%. Por otra parte, el diseño del canal recolector de aguas deberá contemplar una velocidad mínima de 0,6 m/s a caudal promedio diario (Tchobanoglous, Burton & Stensel, 2003).

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$$

Donde:

Q = caudal, m<sup>3</sup>/s

n = coeficiente de rugosidad

A = área hidráulica de la sección transversal, m<sup>2</sup>

R = radio hidráulico, m

S = pendiente de la línea de energía, m/m

Considerando que el caudal promedio se divide en cada filtro percolador, el coeficiente

de rugosidad de Manning para concreto sin acabados es 0,013, la velocidad seleccionada es 0,9 m/s (la cual es >0,6 m/s) y un canal con ancho de 0,4 m, se obtiene la siguiente pendiente del canal:

$$S = \left( \frac{Q * n}{AR^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

$$S = \left( \frac{0,03405 \text{ m}^3/\text{s} * 0,013}{0,0378 \text{ m}^2 * \left( \frac{0,0378 \text{ m}^2}{(0,4\text{m} + 2 * 0,095\text{m})} \right)^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

$$S = 0,005 \text{ m/m}$$

Es importante denotar que el diseño final deberá analizar los diferentes escenarios de aumento de caudal durante los años hasta el horizonte del proyecto y las condiciones hidráulicas a caudal mínimo, promedio y máximo.

Por otro lado, Qasim & Zhu (2018) establecen que el área de ventilación en la base del filtro debe ser mayor al 0,4% del área del filtro, por lo que se elige un porcentaje de 0,5%, resultando un área de 2,9 m<sup>2</sup>; con orificios de 30x35 cm, es decir, 0,105 m<sup>2</sup> de área de orificio; dando en total 28 orificios alrededor del filtro. De ser posible se recomienda aumentar los orificios para asegurar una ventilación adecuada.

## 6) Determinación de los requerimientos de oxígeno

Según Tchobanoglous, Burton & Stensel (2003) y Sperling (2007) la tasa de carga hidráulica seleccionada para el diseño presenta una nitrificación parcial, por lo cual, se incluye dentro del análisis de requerimientos de oxígeno.

Con los datos calculados, se puede determinar la relación de nitrógeno a oxidar entre DBO, lo cual se muestra a continuación.

$$\frac{\text{Nitrógeno a oxidar}}{DBO} = \frac{NH_4e}{DBOe}$$

$$\frac{\text{Nitrógeno a oxidar}}{DBO} = \frac{19,3 \frac{mg}{L}}{173,8 \frac{mg}{L}}$$

$$\frac{\text{Nitrógeno a oxidar}}{DBO} = 0,11 \frac{mg}{mg}$$

Luego, se determina el factor pico de carga orgánica (fCOV) de la siguiente manera.

$$fCOV = \frac{Q_{max} \cdot DBO_e}{Q_{med} \cdot DBO_e}$$

$$fCOV = \frac{21945,6 \frac{m^3}{d} \cdot 173,8 \frac{mg}{L}}{11767,7 \frac{m^3}{d} \cdot 173,8 \frac{mg}{L}}$$

$$fCOV = 1,86$$

Utilizando estos datos, se puede calcular el requerimiento de oxígeno ( $O_2$ ) (Tchobanoglous, Burton & Stensel, 2003).

$$O_2 = 40 \cdot \left( (0,8e^{-9 \cdot fCOV}) + (1,2e^{-0,17 \cdot fCOV}) + \left( 4,6 \cdot \frac{\text{Nitrógeno a oxidar}}{DBO} \right) \right) \cdot fCOV$$

$$O_2 = 40 \cdot \left( \left( 0,8e^{-9 \cdot 0,35 \frac{kgDBO}{m^3d}} \right) + \left( 1,2e^{-0,17 \cdot 0,35 \frac{kgDBO}{m^3d}} \right) + \left( 4,6 \cdot 0,11 \frac{mg}{mg} \right) \right) \cdot 1,86$$

$$O_2 = 124,9 \frac{kg O_2}{kg DBO aplicada}$$

Seguidamente, se calcula la cantidad de aire (Aire) en condiciones estándar (20 °C).

$$\text{Aire (20 °C)} = \frac{O_2 \cdot Q_{med} \cdot DBO_e \cdot 3,58}{1000 \cdot 1440}$$

$$\text{Aire (20 °C)} = \frac{124,9 \frac{kg O_2}{kg DBO aplicada} \cdot 11767,7 \frac{m^3}{d} \cdot 173,8 \frac{mg}{L} \cdot 3,58}{1000 \cdot 1440}$$

$$\text{Aire (20 °C)} = 389,3 \frac{m^3}{min}$$

Para corregir el valor a condiciones reales (25 °C), se realiza el siguiente cálculo.

$$\text{Aire (25 °C)} = \text{Aire (20 °C)} \cdot \left( 1 + \frac{(25 - 20)^\circ\text{C}}{100} \right)$$

$$\text{Aire (25 °C)} = 408,7 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Como se están diseñando 4 filtros, el total de aire por filtro sería 102,2 m<sup>3</sup>/min.

Para calcular la resistencia de la torre (rt<sub>1</sub>) o pérdida de carga, es necesario antes determinar la carga hidráulica (CH).

$$CH = \frac{Q_{med}}{A_f}$$

$$CH = 1000 \cdot \frac{11767,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24\text{h} \cdot 4 \cdot 588 \text{ m}^2}$$

$$CH = 208,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$$

$$rt_1 = 10,33 \cdot hf \cdot e^{1,36 \cdot 10^{-5} \cdot CH}$$

$$rt_1 = 10,33 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot e^{1,36 \cdot 10^{-5} \cdot 208,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}}$$

$$rt_1 = 25,7$$

Utilizando un factor de corrección por pérdida de carga en la piedra de 2 y un factor de corrección de 1,5 por otras pérdidas, se corrige el valor de la resistencia multiplicando por estos valores; dando como resultado una resistencia de 77,2.

$$rt_2 = rt_1 \cdot 2 \cdot 1,5$$

$$rt_2 = 77,2$$

Seguidamente, se calcula la velocidad superficial del aire por filtro (V<sub>sa</sub>).

$$V_{sa} = \frac{\text{Aire (25 °C)}}{A_f}$$

$$V_{sa} = \frac{408,7 \frac{m^3}{min}}{588 m^2 \cdot 60}$$

$$V_{sa} = 0,0029 \frac{m}{s}$$

Luego, la pérdida de presión por filtro percolador (hfp) (Tchobanoglous, Burton & Stensel, 2003).

$$hfp = \frac{rt_2 \cdot V_{sa}^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$hfp = 0,000033 m$$

Calculando la densidad del aire (da) a 25 °C según la teoría de Gases Ideales, esta corresponde a 1,184 kg/m<sup>3</sup>. El producto de este valor con la pérdida de presión da **0,00038 Pa**, la cual corresponde a la pérdida de presión en filtro percolador final.

Si se sabe que la temperatura del agua residual es 20°C (Tar) y la del aire 25 °C (Ta), la temperatura media (Tm) se calcula de la siguiente manera.

$$Tm = \frac{Ta - Tar}{\ln\left(\frac{Ta}{Tar}\right)}$$

$$Tm = \frac{25^{\circ}C - 20^{\circ}C}{\ln\left(\frac{25^{\circ}C}{20^{\circ}C}\right)}$$

$$Tm = 22,4^{\circ}C$$

Esto permite calcular la presión de la corriente de aire (P).

$$P = 353 \cdot \left( \frac{1}{273,15 + Tar} - \frac{1}{273,15 + Tm} \right) * hf$$

$$P = 353 \cdot \left( \frac{1}{273,15 + 20,0^{\circ}C} - \frac{1}{273,15 + 22,4^{\circ}C} \right) * 2,5m$$

$$P = 0,02435 mm H_2O$$

$$P = \mathbf{0,239 Pa}$$

Al realizar una comparación entre la corriente de aire esperada y las pérdidas o presión generada en el filtro percolador, se determina que la presión de la corriente de aire es mayor a las pérdidas de carga en el filtro percolador para la temperatura media calculada. En los periodos en que la temperatura de las aguas residuales y la temperatura del aire sean más cercanas, existe la posibilidad de que el oxígeno no sea suficiente lo cual podría desencadenar problemas de malos olores.

#### 7) Determinación de la producción de lodos de los filtros percoladores

Sperling (2007) indica que el coeficiente de producción de lodos ( $Y_s$ ) se encuentra entre 0,8 y 1 kg SST/kg DBO. Para efectos del diseño, se establece 0,9 kg SST/kg DBO. El procedimiento para calcular la producción de sólidos y su volumen del filtro percolador, se presenta a continuación.

$$P_s = 0,9 \frac{kg \text{ SST}}{kg \text{ DQO}} \cdot \left( \frac{(173,8 \frac{mg}{L} - 36,1 \frac{mg}{L}) * 11767,7 \frac{m^3}{d}}{1000} \right)$$

$$P_s = 1458,3 \frac{kg \text{ SST}}{d}$$

Considerando una densidad de lodo de 1020 kg/m<sup>3</sup> (d) y una concentración de sólidos ( $C_s$ ) del 0,5%, se calcula el volumen de lodos (Vl).

$$Vl = \frac{1458,3 \frac{kg \text{ SST}}{d}}{1020 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{0,5}{100}}$$

$$Vl = 285,9 \frac{m^3}{d}$$

### Sedimentadores secundarios

A continuación, se detalla la memoria de cálculo sanitaria para el dimensionamiento de los sedimentadores secundarios.

Tabla 27. Resumen de parámetros de diseño para sedimentadores secundarios.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Carga hidráulica superficial (DBO <sub>5</sub> ≤20 mg/l y nitrificación)(Q <sub>med</sub> )	CHS	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> * d	16 - 24	24	(Sperling, 2007)
Carga hidráulica superficial (DBO <sub>5</sub> ≤20 mg/l y nitrificación) (Q <sub>max</sub> )	CHS	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> * d	32 - 40	-	(Sperling, 2007)
Tasa carga vertederos (Q <sub>med</sub> )	-	m <sup>3</sup> / m * d	5	-	(Sperling, 2007)
Tasa carga vertederos (Q <sub>max</sub> )	-	m <sup>3</sup> / m * d	10	-	(Sperling, 2007)

Tabla 28. Características generales de los equipos de los sedimentadores secundarios.

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
Equipo de bombeo	Número de unidades	unidades	12
	Modelo	-	SULZER
	Flujo de caudal	gpm	4,6
	Demanda energética por unidad-	kW	0,75-

Se definen 2 métodos para la determinación del área superficial requerida para los tanques de sedimentación secundaria.

- Determinación del área superficial mediante tasas hidráulicas convencionales y tasas de carga de sólidos.
- Determinación del área superficial mediante tasas de carga basadas en enfoque simplificado de la teoría de flujo de sólidos.

Se opta por el método 1, debido a que el método 2 requiere de información sobre las

características y parámetros de sedimentabilidad de los lodos.

### 1) Determinación del área de los sedimentadores secundarios

Sperling (2007) establece parámetros de tasa hidráulica superficial para sedimentadores secundarios seguidos de filtros percoladores. Este autor realiza una clasificación en niveles de tratamiento y la presencia de procesos de nitrificación. Debido a la configuración de tasa superficial de diseño de los filtros percoladores donde se generan procesos parciales de nitrificación, se utiliza el rango mayor de tasa hidráulica superficial de sedimentadores para filtros percoladores con  $DBO_5 \leq 20$  mg/l de salida y con procesos de nitrificación como factor de seguridad. Es importante indicar que no se cuenta con recirculación del efluente, por lo que se estima a partir del caudal promedio únicamente. Considerando que la tasa superficial es de  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ , se determina el área requerida ( $A_{sed}$ ).

$$A_{sed} = \frac{Q_{med}}{CHS_{med}}$$

$$A_{sed} = \frac{11767,7 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{d}}}$$

$$A_{sed} = 490,3 \text{ m}^2$$

Además, para verificar las condiciones a caudal máximo mediante el resultado del área a condiciones de  $Q_{med}$ , se divide el caudal máximo entre el área calculada para determinar la tasa de hidráulica superficial. A partir de dicho cálculo se obtiene que a caudal máximo se obtiene una tasa de  $44,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ . Esta tasa superficial supera el rango de tasa hidráulica superficial de sedimentadores para filtros percoladores con  $DBO_5 \leq 20$  mg/l de salida y con procesos de nitrificación, pero se encuentra dentro del rango de tasa hidráulica superficial de sedimentadores para filtros percoladores con  $DBO_5 = 20$  mg a  $30$  mg/l de salida y sin procesos de nitrificación, por lo cual, se considera una tasa aceptable.

Se propone la elaboración de 4 sedimentadores como un área superficial de  $122,6 \text{ m}^2$ , con un ancho de  $6 \text{ m}$  y un largo de  $20,4 \text{ m}$ . Se propone una altura total de  $4,5 \text{ m}$ , una altura útil de  $4,0 \text{ m}$ . Se selecciona, además, una separación de baffle inicial y final del sedimentador para la detención de flotantes

2) Determinación de la tasa de salida del efluente en los sedimentadores secundarios

Sperling (2007) indica que la tasa de carga de diseño de vertederos V-notch (TCV) recomendada es de 5 m<sup>3</sup>/mh para caudal promedio y 10 m<sup>3</sup>/mh para caudal máximo. Con este dato se calcula la longitud total de canaletas de recolección (Lc).

$$Lc = \frac{Q_{med, s}}{Lc}$$

$$Lc = \frac{123 \frac{m^3}{h}}{5 \frac{m^3}{mh}}$$

$$Lc = 24,5 m$$

Se consideran 6 vertederos a lo ancho del sedimentador, esto mediante 3 canaletas de recolección para una longitud total de canaletas ajustada (Lca) de 36 m.

Además, se verifica la tasa de carga de diseño de vertederos con los caudales medio y máximo.

$$TCV = \frac{Q_{med}}{Lca}$$

$$TCV = \frac{11767,7 \frac{m^3}{d}}{4 \cdot 24h \cdot 36m}$$

$$TCV = 3,4 \frac{m^3}{m * h}$$

$$TCV = \frac{Q_{max}}{Lca}$$

$$TCV = \frac{21945,6 \frac{m^3}{d}}{4 \cdot 24h \cdot 36m}$$

$$TCV = 6,4 \frac{m^3}{m * h}$$

Por tanto, cumplen correctamente con los criterios definidos.

### 3) Definición de la recirculación de lodos capturados a los reactores UASB

Es importante mencionar que del cálculo de la generación de lodos en los filtros percoladores, se determinó que la cantidad de sólidos es de 1458,3 kg SST/d, donde considerando una concentración de 0,5%, el volumen de lodos correspondería a 285,9 m<sup>3</sup>/d. La configuración de recirculación de lodos deberá contemplar el bombeo constante de dicho volumen de lodos durante el día.

## Lechos de secado

A continuación, se detalla la memoria de cálculo sanitaria para el dimensionamiento de los lechos de secado.

Tabla 29. Resumen de parámetros de diseño para sedimentadores secundarios.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor sugerido	Valor propuesto o estimado	Referencias bibliográficas
Captura de sólidos en los lechos de secado	-	%	90 - 98	95	(Sperling, 2007)
Tiempo de secado	-	d	10 - 15	13	(Sperling, 2007)
Tiempo de limpieza	-	d	-	1	(Sperling, 2007)
Tasa de carga sólidos	SLR	kg ST/m <sup>2</sup>	15	15	(Sperling, 2007)

Tabla 30. Características generales de los equipos de los lechos de secado

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
Equipo de bombeo	Número de unidades	-	2
	Modelo	-	SULZER

Componente	Parámetros	Unidad	Valor
	Flujo de caudal	gpm	4,6
	Demanda energética por unidad-	kw	0,75-

### 1) Determinación del ciclo de operación de los lechos de secado

El ciclo de operación corresponde a los días de tiempo de secado y limpieza definidos para operación de los lechos de secado. Para este prediseño se determina un tiempo de secado de 13 días y 1 día para limpieza de los lechos. A partir de esto, se define que el volumen de lodo por ciclo corresponde a 1377,4 m<sup>3</sup> y un total de 35.468 kg SST.

### 2) Determinación del área requerida de los lechos de secado

A partir de la calidad de lodos generados por ciclo, se determina la tasa de carga de sólidos de los lechos de secado y se define el área.

$$Als = \frac{\text{Sólidos ciclo kg SST}}{\text{SLR kg/m}^2}$$

$$Als = \frac{35468 \text{ kg SST}}{15 \text{ kg/m}^2}$$

$$Als = 2364,5 \text{ m}^2$$

Considerando celdas de 10x10m, se define una totalidad de 24 lechos de secado.

### 3) Determinación del volumen de filtrados de los lechos de secado a retornar al sistema de tratamiento

Considerando que se alcanza una reducción de la humedad a un 75% (Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos N°39316-S), el volumen de biosólido correspondería a 9,1 m<sup>3</sup>/d. Esto definiría que los filtrados a retornar serían 89,3 m<sup>3</sup>/d.

## Desinfección

El proceso de desinfección fue incluido dentro del análisis técnico como un tratamiento terciario para el efluente tratado. Se define la desinfección por lámparas ultravioleta

como tecnología que através de procesos físicos desinfectan el efluente sin dejar químicos residuales y representa una tecnología segura y efectiva (Qasim & Zhu, 2018).

El Decreto N° 33601 "Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales" establece un límite de coliformes fecales para vertido de aguas residuales en cuerpos receptores. Las aguas residuales de hospitales y otros establecimientos de salud para atención de humanos o animales y de laboratorios microbiológicos que sean vertidas a cualquier cuerpo receptor, así como las aguas residuales ordinarias de cualquier origen que sean vertidas a un cuerpo receptor utilizado para actividades recreativas de contacto primario, deberán cumplir con un número más probable de coliformes fecales no mayor de 1000 por cada 100 mL de muestra. En el caso de la futura PTAR, esta recibirá aguas residuales de establecimientos de salud de humanos o animales y de laboratorios microbiológicos, por lo cual, se incluye dentro del análisis técnico.

#### **4.2.1.3. Dimensionamiento eléctrico**

En el anexo digital de las láminas del prediseño, se encuentran las especificaciones del prediseño eléctrico de la PTAR, por lo que para más detalle, se recomienda que se revisen dichas láminas.

Para la estimación de cargas y diagrama unifilar se contemplaron las demandas de cada uno de los equipos de bombeo, mezclado, lámparas ultravioleta, tableros eléctricos, entre otros, de las diferentes áreas de la PTAR, como laboratorio, caseta de seguridad y áreas comunes.

A partir del prediseño conceptual de la PTAR, se propone colocar un transformador de 300 KVA para llevar todas las cargas antes mencionadas y previstas de la PTAR. Se toma en cuenta en el diseño que exista alimentación a tableros 480/277 V y también 120/208 V. Se considera un generador eléctrico con una transferencia automática con la misma capacidad del transformador propuesto.

#### **4.2.1.4. Dimensionamiento mecánico**

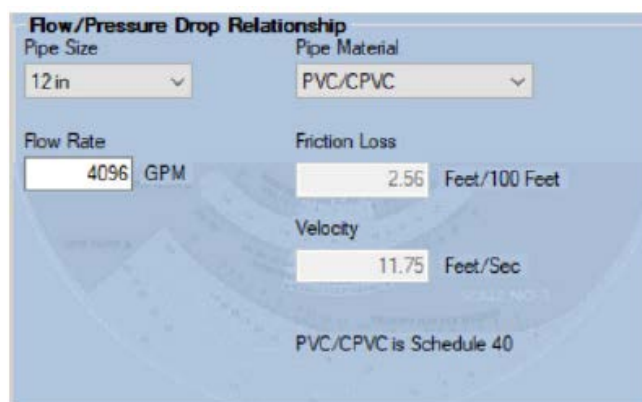
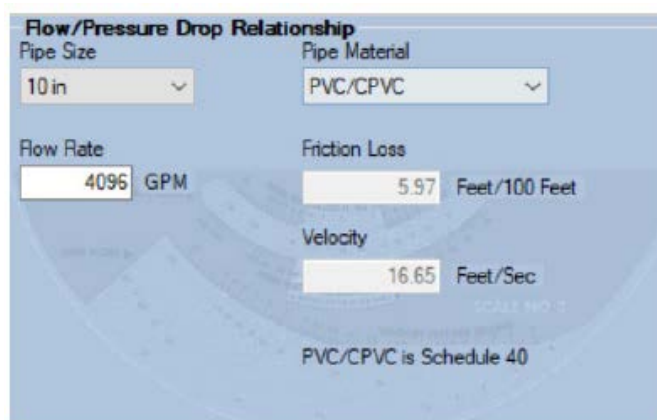
Al igual que el prediseño eléctrico, el prediseño mecánico se encuentra detallado en el anexo digital de las láminas de prediseño de la PTAR, por lo que para más detalle, se recomienda que se revisen dichas láminas.

En el prediseño conceptual se puede observar una lámina correspondiente a diagrama

de flujo de la PTAR, y otra con la distribución de las tuberías mecánicas.

Seguidamente se detalle el dimensionamiento de las tuberías de presión, la cual fue realizada utilizando la aplicación "System Sizer" de Bell & Gossette, la cual es de acceso gratuito y disponible para descarga.

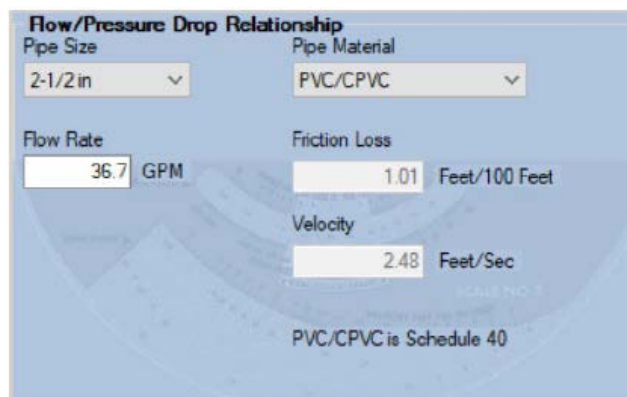
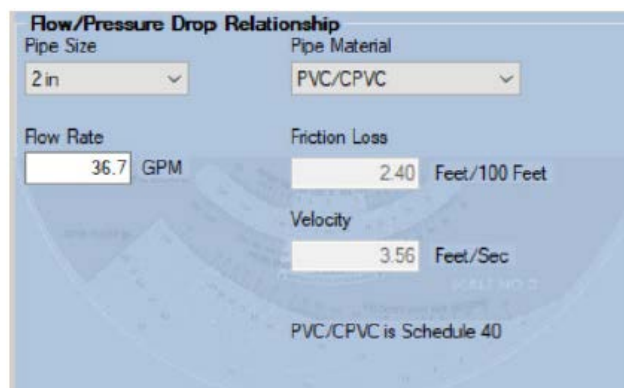
- Desgarga de bombas de tanque sedimentador primario hacia Reactores UASB  
 Datos utilizados: Caudal: 4096 gpm, Ft/100ft Max: 5 ft/100ft. Al ser un anteproyecto, se estableció este dato como parámetro típico de diseño.



Para 10", la pérdida por cada 100 ft, supera el valor de 5ft/100 ft, por lo que se decide utilizar el diámetro de 12". Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño.

- Descarga de bombas de pozo de lodos a lechos de secado  
 Datos utilizados: Caudal: 36.70 gpm (Caudal de ambas bombas). Ft/100ft Max: 5 ft/100ft. Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar

durante la fase de diseño.

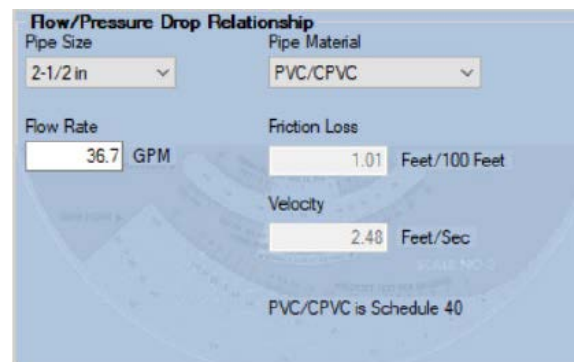
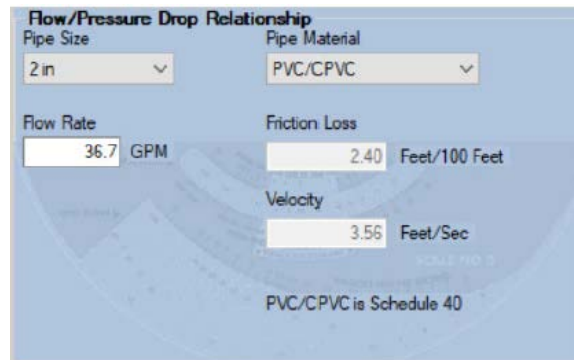


Para 2", la pérdida por cada 100 ft, se encuentra en el rango sin embargo, al trasegar lodos y no tener aún información de densidad del agua a trasegar, se decidió aumentar un diámetro para tener un factor de seguridad.

Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño.

- Descarga de bombas de sedimentador secundario hacia Reactor UASB

Datos utilizados: caudal: 36.70 gpm (caudal de ambas bombas). Ft/100ft Max: 5 ft/100ft. Al ser un anteproyecto, se estableció este dato como parámetro típico de diseño.



Para 2", la pérdida por cada 100 ft, se encuentra en el rango, sin embargo, al trasegar lodos y no tener aún información de densidad del agua a trasegar, se decidió aumentar un diámetro para tener un factor de seguridad.

Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño

- Descarga de bombas de recolección de lixiviados hacia tanque de homogenización

Datos utilizados: caudal: 36.70 gpm (caudal de ambas bombas). Ft/100ft Max: 5 ft/100ft. Al ser un anteproyecto, se estableció este dato como parámetro típico de diseño.

**Flow/Pressure Drop Relationship**

Pipe Size	Pipe Material
2 in	PVC/CPVC
Flow Rate	Friction Loss
36.7 GPM	2.40 Feet/100 Feet
	Velocity
	3.56 Feet/Sec
PVC/CPVC is Schedule 40	

**Flow/Pressure Drop Relationship**

Pipe Size	Pipe Material
2-1/2 in	PVC/CPVC
Flow Rate	Friction Loss
36.7 GPM	1.01 Feet/100 Feet
	Velocity
	2.48 Feet/Sec
PVC/CPVC is Schedule 40	

Para 2", la pérdida por cada 100 ft, se encuentra en el rango sin embargo, al trasegar lodos y no tener aún información de densidad del agua a trasegar, se decidió aumentar un diámetro para tener un factor de seguridad.

Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño.

Seguidamente se detalla el dimensionamiento de las tuberías por gravedad, la cual fue realizada producto de una estimación para el prediseño, dando como guía y referencia en la etapa preliminar que se encuentra el proyecto. En la etapa de diseño final, el diseñador tiene la potestad de usar dicha información o bien por medio de cálculos determinar su propios parámetros. Los datos colocados son producto de la experiencia profesional, y se utilizaron tablas autogeneradoras de cálculo las cuales son propiedad intelectual de los profesionales.

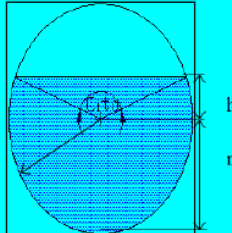
- Descarga de Reactores UASB hacia Filtros

Datos utilizados: caudal: 4096 gpm, 258.4 lps (principal).

**Cálculo de tuberías circulares en sistemas por gravedad**

**Datos**

Diámetro (m)	0.45
h/r (0<h/r<1)	0.75
Pendiente (mm/mm)	0.01



**Resultados**

Radio Hidráulico (m)	0.13557
Caudal (l/s)	390.57
Area utilizada (m <sup>2</sup> )	0.148
Porcentaje de utilización (%)	93
Velocidad promedio (m/s)	2.64

Rugosidad de

Coefficiente "C" de

Retorno

**Velocidad adecuada**

Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño para tener un factor de seguridad.

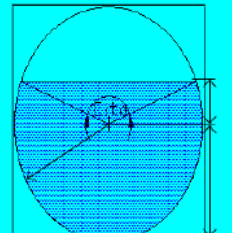
- Descarga de Filtros hacia sedimentador secundario

Datos utilizados: caudal: 4096 gpm, 258.4 lps (Principal).

**Cálculo de tuberías circulares en sistemas por gravedad**

**Datos**

Diámetro (m)	0.45
h/r (0<h/r<1)	0.75
Pendiente (mm/mm)	0.01



**Resultados**

Radio Hidráulico (m)	0.13557
Caudal (l/s)	390.57
Area utilizada (m <sup>2</sup> )	0.148
Porcentaje de utilización (%)	93
Velocidad promedio (m/s)	2.64

Rugosidad de

Coefficiente "C" de

Retorno

**Velocidad adecuada**

Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño para tener un factor de seguridad.

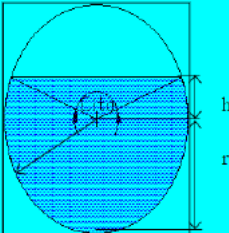
- Descarga de Filtros hacia sedimentador secundario

Datos utilizados: caudal: 3069 gpm, 193.6 lps (dos ramales).

*Cálculo de tuberías circulares en sistemas por gravedad*

**Datos**

Diámetro (m)	0.375
$h/r$ ( $0 < h/r < 1$ )	0.75
Pendiente (mm/mm)	0.01



**Resultados**

Radio Hidráulico (m)	0.11298
Caudal (l/s)	238.38
Area utilizada (m <sup>2</sup> )	0.102
Porcentaje de utilización (%)	92
Velocidad promedio (m/s)	2.34

Rugosidad de

Coefficiente "C" de

Retorno

**Velocidad adecuada**

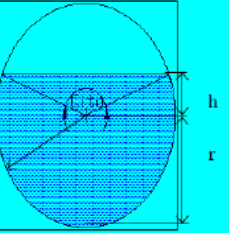
Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño para tener un factor de seguridad.

- Descarga de Filtros hacia sedimentador secundario  
 Datos utilizados: caudal: 1024 gpm, 64.6 lps (un ramal).

*Cálculo de tuberías circulares en sistemas por gravedad*

**Datos**

Diámetro (m)	0.3
$h/r$ ( $0 < h/r < 1$ )	0.75
Pendiente (mm/mm)	0.01



**Resultados**

Radio Hidráulico (m)	0.09038
Caudal (l/s)	132.92
Area utilizada (m <sup>2</sup> )	0.066
Porcentaje de utilización (%)	93
Velocidad promedio (m/s)	2.01

Rugosidad de

Coefficiente "C" de

Retorno

**Velocidad adecuada**

Al ser una estimación de anteproyecto, este diámetro se podrá optimizar durante la fase de diseño para tener un factor de seguridad.

#### 4.2.1.5. Dimensionamiento estructural

##### Parámetros geotécnicos y dinámicos

Con el propósito de evaluar las condiciones del subsuelo en el lote, se realizó un estudio geotécnico (LABCORE-106-09-2021 con fecha de setiembre de 2021), cuyos

resultados y recomendaciones fueron tomados en cuenta para el prediseño del cálculo estructural de las fundaciones. Dicho estudio se adjunta a este documento, y en el documento de Fase 2 del estudio, se presentó los resultados del mismo.

A continuación, se resumen los aspectos más relevantes del informe geotécnico. Se efectuaron cinco perforaciones para Ensayos de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés) con profundidades variables según donde se obtuvo el rebote del mazo.

- El terreno está compuesto primordialmente por limos (ML, baja plasticidad). La profundidad máxima alcanzada en los sondeos fue de 2,70 metros, en los sondeos realizados no se detectó nivel freático hasta la profundidad explorada para la fecha de ejecución de los ensayos de campo.
- Por capacidad de soporte, se sugiere cimentar a una profundidad mínima de 0,90 metros para cimientos corridos o aislados, donde se logran identificar los estratos con la capacidad de soporte admisible adecuada.
- Se recomienda para los pisos de la obra eliminar por completo el suelo orgánico (capa A) con espesores no mayores a 0,45 m, para luego colocar como mínimo 0,35 m de un buen material granular de sub-base compactado en capas al 95% del próctor estándar, y sobre este proceder al colado de las losas de concreto.
- El riesgo por licuación de los materiales presentes es muy bajo.

### **Normativa aplicable**

Por tratarse de una estructura de almacenamiento, para el cálculo de las demandas, así como de la cantidad y ubicación del refuerzo, se siguió lo que establecen los siguientes códigos:

- ACI 350-20 Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary.
- ACI 350.3-20 Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary.
- Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-10)
- Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR-09)
- Lineamientos técnicos para el cálculo y la aplicación de las fuerzas de viento en el diseño y construcción de edificaciones en Costa Rica

En lo referente al empuje sísmico del terreno se aplicó el Método de Mononobe-Okabe prescrito en la Sección 13.8 del Código Sísmico de Costa Rica 2010. Para la estimación de las fuerzas impulsivas y convectivas (empuje dinámico del agua) se empleó la metodología del Código ACI 350 y los parámetros de amenaza sísmica se homologaron con los parámetros locales. Para el cálculo de las estructuras metálicas a nivel de techo, se empleó la recientemente aprobada normativa de viento sobre estructuras en Costa Rica se incluyen en “Los Lineamientos técnicos para el cálculo y aplicación de las fuerzas de viento en el diseño y construcción de edificaciones en Costa Rica”, publicado el 04 de Noviembre de 2021 en el diario oficial la Gaceta.

## Componentes de la PTAR

Tabla 31. Componentes del sistema de la PTAR.

Subsistema	Observaciones
Pretratamiento	Sistema abierto a base tubos estructurales de acero. Cubierta de Techos con Láminas de Hierro Galvanizado Esmaltado. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en voladizo, con espesores variables entre 200-300mm. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesores variables entre 200 a 300mm, apoyada sobre una base de lastre con espesor 300mm. Rellenos laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.
Tanque homogenización	Sistema Cerrado. Losa superior de concreto reforzado, espesor 200-300mm. Entramado de columnas de concreto reforzado, dimensiones 600-800mm por lado. Vigas superiores de concreto reforzado, ancho 300- 400mm, altura 500-600mm. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en condición de apoyo simple. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesores variables entre 300 a 400mm, apoyada sobre una base de lastre con espesor 300mm. Rellenos laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.
Reactores UASB	Sistema parcialmente cerrado que consta de tres módulos independientes interconectados. Losa Superior de Concreto Reforzado, espesor 200-250mm. Entramado de Columnas de Concreto Reforzado 400-500mm por lado. Entramado de vigas de concreto reforzado, base 250-300mm, altura 500-600mm. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en apoyo simple, espesores variables entre 200-250mm. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesores variables entre 300-400mm, apoyada sobre una base de lastre. Rellenos laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.
Filtros percoladores	Sistema abierto circular semienterrado. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en voladizo, espesores variables entre 300-400mm. Muros concéntricos internos de concreto reforzado con espesores entre 200-300mm. Losa inferior de concreto reforzado, espesor entre 200-300mm con perforaciones que consideran un 30% del área bruta de la losa. Columna Central de concreto reforzado para apoyo de equipos. Tiene un diámetro entre 600-800mm. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesor variable 200-400mm, apoyada sobre una capa de lastre compactado de 300mm de espesor. Rellenos Laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.
Sedimentadores	Sistema abierto enterrado. Consta de Cuatro Módulos contiguos Independientes. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en apoyo simple, espesores variables entre 200-250mm. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesores variables entre 300-400mm. Rellenos laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.

Subsistema	Observaciones
Canal de desinfección	Sistema abierto. Estructura de techos a base en tubos estructurales de acero. Cubierta de techos con láminas de hierro galvanizado esmaltado. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en voladizo, con espesores variables entre 200-300mm. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesores variables entre 200 a 300mm. Rellenos laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.
Lechos de secado	Sistema abierto. 24 módulos de 10x10m cada uno. Estructura de techos a base de tubos estructurales. Cubierta de techos con láminas de policarbonato. Estructura principal con base en muros de retención de concreto reforzado en voladizo, con espesores variables entre 200-300mm. Losa de cimentación de concreto reforzado, espesores variables entre 200 a 300mm. Rellenos Laterales con material granular selecto tipo lastre compactado.

## Verificación de la cantidad y posición del acero propuesto

En primera instancia se revisó que el refuerzo propuesto cumpliera con los requerimientos de separación máxima y cantidad mínima del refuerzo en cada uno de los componentes. Para esto se consideró lo que estipula el Código ACI 350-20.

Tabla 32. Verificación del armado en paredes.

Artículo de referencia	Parámetro teórico
ACI 350R-20 Art. 14.3.2 14.3–Slab reinforcement” , “14.3 Refuerzo de losas”	$\rho_{min.} = 0,0030$
ACI 350R-20 Art. 14.3.5 14.3–Slab reinforcement” , “14.3 Refuerzo de losas”	Smáx. = 30 cm

La proporción acero/ concreto, como la frase lo indica, es la relación que indica la teoría debe existir entre la cantidad de acero de refuerzo y la cantidad de concreto de un elemento estructural, según lo indica la teoría aplicable en el Código ACI del “American Concrete Institute”. La separación máxima del refuerzo, es aquella separación que debe respetar el acero de refuerzo al colocarse en un elemento, cuando se realice el cálculo del diseño del elemento.

Adicionalmente se efectuó la revisión de la separación máxima del refuerzo bajo el Criterio de ancho máximo de grieta. Para esto se aplicó lo que establece el ACI 318-19 en el artículo 24.3.2 en el cual se limita la separación del refuerzo más cercano a la cara en tensión del elemento.

En el caso de una losa de espesor  $t$  se tiene:

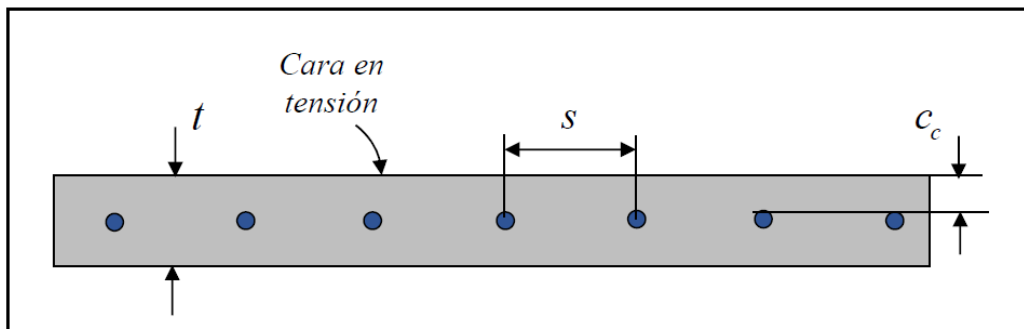


Figura 14. Definición de parámetros sobre disposición del refuerzo.

$$s \leq s_{max} = \min \left\{ \frac{38 \left( \frac{2800}{f_s} \right) - 2,5c_c}{30 \left( \frac{2800}{f_s} \right)} \right\}$$

Con respecto al recubrimiento, se siguió lo que el Código ACI 318-19 establece en el artículo 20.5.1.3.1: “Los miembros de concreto prefabricado no preesforzados fabricados en sitio deben tener un recubrimiento de concreto especificado para el refuerzo igual al menos al dado en la Tabla 20.5.1.3.1.”

Tabla 33. Extracto de la tabla 20.5.1.3.1 del código ACI 318-19.

Exposición del concreto	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado, mm
Construido contra el suelo y permanentemente en contacto con él	Todos	Todos	75
Expuesto a la interperie o en contacto con el suelo	Todos	Barras N°19 a N°57	50
		Barra N°16, alambre MW200 o MD200, y menores	40
No expuesto a la interperie ni en contacto con el suelo	Losas, viguetas y muros	Barras N°43 a N°57	40
		Barras N°36 y menores	20

Exposición del concreto	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado, mm
	Vigas, columnas, pedestales y amarres a tracción	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	40

El tamaño de los elementos estructurales se definió de manera que no haya complicación en el proceso de colado. Debido al espesor (principalmente de las paredes) se recomienda emplear una mezcla con una fluidez tal que permita, sin el uso de vibrador, que el concreto llene todo el volumen provisto por el encofrado de manera que no se presenten cavidades que reduzcan sustancialmente la capacidad estructural. Para esto se debe proponer un tamaño máximo nominal de agregado grueso de un quinto de la menor dimensión entre caras del encofrado y de ser necesario, añadir a la mezcla un aditivo fluidificante en la proporción que indique el fabricante.

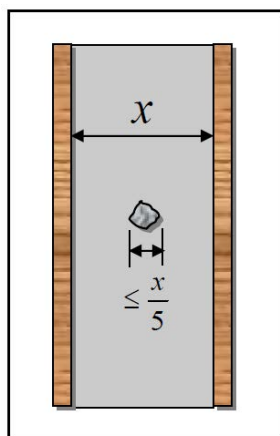


Figura 15. Tamaño máximo nominal del agregado grueso en losas de concreto (muros, losas de tapa y cimentación).

## Análisis estructural

**Cargas de diseño:** En la siguiente figura se muestran esquemáticamente los patrones de carga asociados a las cargas consideraron:

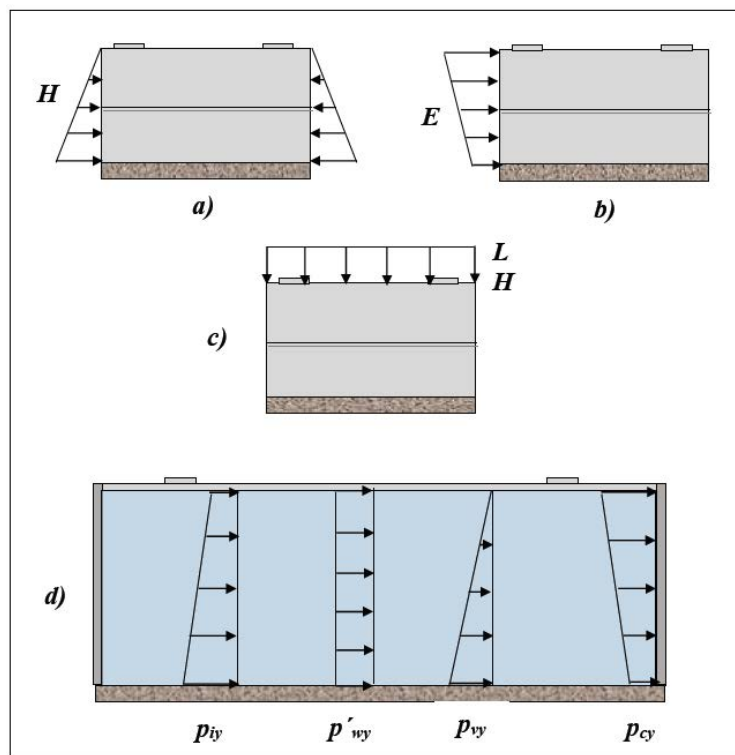


Figura 16. Patrones de carga.

Tabla 34. Valores de carga.

Figura	Cargas consideradas <sup>3</sup>
16 a)	H: empuje activo del suelo <sup>4</sup>
16 b)	E: empuje sísmico del suelo
16 c)	L: carga viva vehicular H: peso del suelo sobre la tapa
16 d)	$p_{iy}$ : presión impulsiva $p_{wy}$ : presión inercial del muro $p_{vy}$ : presión hidrodinámica por aceleración vertical

<sup>3</sup> En todos los escenarios, se consideró la carga permanente D (peso propio), la cual asigna automáticamente el programa.

<sup>4</sup> Para los escenarios 3 y 4, por estar enterrado el tanque, el empuje activo a nivel de la tapa es mayor a cero.

Figura	Cargas consideradas <sup>3</sup>
	p <sub>cy</sub> : presión convectiva

**Combinaciones de carga:** Para el cálculo de las demandas, se aplicaron las combinaciones de carga prescritas por el Código ACI 350-06:

$$U = 1,4 (D + F)$$

$$U = 1,2 (D + F) + 1,6 (L + H)$$

$$U = 1,2 D + L$$

$$U = 1,2 D + 1,2 F + E + 1,6H + L$$

$$U = 0,9D + 1,2 F + 1,6H$$

$$U = 0,9D + 1,2 F + E + 1,6H$$

Donde:

U: última carga

D: carga permanente

L: carga temporal

F: cargas debido al peso y presiones de fluidos

H: cargas debido al peso y presiones del suelo

E: carga sísmica

**Cálculo de fuerzas internas:** Con el propósito de evaluar las fuerzas internas en el tanque, se debe crear en el diseño final un modelo de elemento finito mediante un software de análisis estructural. En el modelo se debe ingresar la geometría y las cargas provenientes del entorno (empujes de suelo y agua). Este tipo de modelos permite obtener de manera muy precisa las fuerzas internas y/o esfuerzos a los que se verán sometidos los elementos para posteriormente compararlos con sus respectivas capacidades.

## 4.2.2. Especificaciones técnicas

### 4.2.2.1. Pretratamiento

A continuación, se presentan algunos aspectos principales para ser validados en el análisis de las unidades del pretratamiento y que deberán de contemplar en su diseño final:

Tabla 35. Principales aspectos a ser evaluados en el análisis de unidades que componen el tratamiento preliminar.

Aspectos generales	Grado de importancia	
	Alto	Medio
Consultar a los proveedores de las unidades de mantenimiento operativo y electromecánico previo a la definición del diseño/layout del pretratamiento (apoyo, anclaje, elevación, equipamiento, posibilidad de recibir un camión que limpia la fosa séptica y efluentes no domésticos, forma de limpieza y drenaje las unidades, necesidades de control de olores, etc.).	X	
Dimensionar las unidades utilizando el máximo caudal afluente y garantizar las mínimas velocidades de caudal, a fin de evitar la deposición no deseada de sólidos orgánicos (SSV).	X	
Justificar la elección del tratamiento preliminar manual o mecanizado.	X	
Compruebe el perfil hidráulico de las unidades del pretratamiento. Se deben considerar las pérdidas de carga (canales, compuertas y equipos) desde la salida del tramo final del alcantarillado y entrada a la PTAR hasta las unidades de rejilla, para definir las profundidades del agua (aguas abajo y aguas arriba de cada unidad) y demás unidades del pretratamiento.	X	
Disponer de un dispositivo (vertedero lateral o aliviaderos) para caudales superiores a la capacidad de diseño de la PTAR. Es recomendable contar con vertedero lateral o aliviaderos previo al pretratamiento. Esta medida tiene como objetivo evitar el ahogamiento de las unidades instaladas aguas arriba del vertedero lateral o aliviadero.	X	
En el canal donde se expulsan las aguas del vertedero lateral o aliviadero, se debe prever la implementación de dispositivos para la medición de caudal y asegurar el registro de la frecuencia y magnitud de los aportes derivados al cauce.		X
Para las plantas de tratamiento medianas y grandes ( $Q \geq 20$ L/s o Pob $\geq 10.000$ hab.), adoptar duplicación de las unidades del pretratamiento (rejilla, desarenador y tamizado). Evaluar alternativas de modulación para reducir la inversión inicial, sin embargo, asegurar el mantenimiento de velocidades mínimas, a fin de evitar la deposición indeseada de sólidos.	X	

#### 4.2.2.2. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB)

A continuación, se presentan algunas especificaciones técnicas que las unidades de reactores anaerobios (UASB) deberán de contemplar en su diseño final:

##### **Separador trifásico**

El separador trifásico corresponde al mecanismo dentro de los reactores UASB que permite la separación del biogás, la conducción del agua tratada y la retención de los sólidos en suspensión. El separador trifásico debe de contar con materiales de alta resistencia mecánica y a la corrosión para evitar eventuales problemas de operación o mantenimientos continuos. A su vez, se reducen los riesgos de accidentes y pérdida de la capacidad de captura del biogás. El escape de biogás por el compartimiento de sedimentación puede dificultar la sedimentación de sólidos, deteriorando la calidad del efluente tratado y el incremento de emisiones fugitivas de metano y sulfuro de hidrógeno (gas ligado a malos olores) hacia la atmósfera. Se recomienda la construcción de los separadores trifásicos, en este caso las campanas del biogás, en lámina de acero inoxidable clase 316 de 3 mm de espesor como mínimo. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017). Existe la posibilidad de incluir otros materiales de menor precio como plástico reforzado con fibra de vidrio con espesor mínimo de 7 mm para soportar la presión del biogás generado (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).

##### **Manejo de espumas**

En lo que corresponde a los reactores UASB la espuma puede presentarse en dos sitios específicos (Figura 17), como lo son los compartimientos o vertederos de salida del efluente y en el interior de los separadores trifásico (específicamente en el espacio de la liberación de biogás) durante la digestión anaerobia.

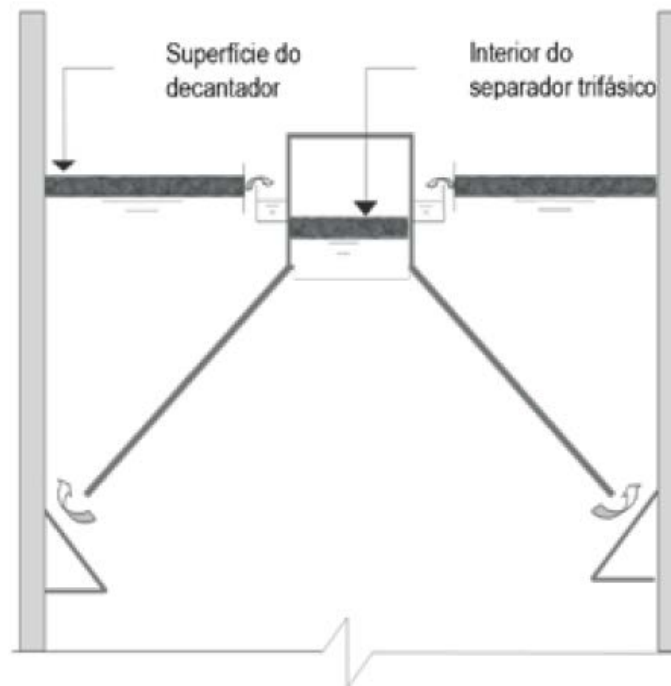


Figura 17. Identificación de puntos de acumulación de espuma en reactores UASB. (Chernicharo, y otros, 2018)

La espuma acumulada en los compartimientos o vertederos de salida del efluente se caracteriza por ser un residuo concentrado y presenta coeficientes bajos de acumulación. Esto permitiendo poder omitir la colocación de baffles o retenedores de espuma previo a los vertederos de salida del efluente para que este sea descartado con el efluente. No obstante, se debe garantizar un nivelamiento adecuado de los vertederos de salida con la finalidad de evitar flujos preferenciales o acumulaciones de espuma en canales. (Chernicharo, y otros, 2018)

Por otra parte, la acumulación de espuma en el interior de la campana para la captura del biogás podría presentar espesamiento y solidificación de la espuma conllevando a problemas en la operación de los reactores UASB. La acumulación de espuma puede impedir el traslado natural del biogás generado en el reactor, provocando la fuga de este por los compartimientos de sedimentación, comprometiendo la retención de sólidos y llevando al deterioro de la calidad del efluente. El impedimento del recorrido natural del biogás podría provocar un aumento en la presión del biogás resultado en esfuerzos estructurales elevados en las paredes del separador trifásico hasta el punto de provocar desnivelaciones y modificaciones en las estructuras y la ruptura de la estructura. (Chernicharo, y otros, 2018)

Chernicharo (2018) indica que liberación del biogás por los compartimientos de sedimentación de los reactores UASB también tiene un impacto directo en el aumento de los niveles de emisión de malos olores y gases de efecto invernadero.

En la Tabla 36 se presentan los principales lineamientos técnicos para el manejo de espuma en los reactores UASB.

Tabla 36. Principales lineamientos para el diseño, construcción y operación relacionados con el control de la formación de espumas en el compartimiento de sedimentación.

Lineamientos
Mejora del diseño, fabricación e instalación de los conductos de recogida de efluentes (garantía de una lámina de vertedero mínima de 15 mm y una adecuada fijación que garantice la nivelación y la resistencia a la torsión).
Correcto dimensionamiento de la estructura de los aliviaderos y de la estación de bombeo o tanque de homogenización para alimentación de los reactores, a fin de evitar sobrecargas hidráulicas y velocidades excesivas en los compartimientos de digestión y decantación del reactor.
Correcta gestión de los lodos, con el fin de evitar el paso excesivo y la “flotación” de los lodos en el compartimiento de decantación.

Tabla 37. Directrices para el diseño, construcción y operación del dispositivo de eliminación de espumas.

Lineamientos
La cantidad de espuma acumulada dentro del separador trifásico debe ser verificada para cada condición específica, considerando la calidad de las aguas residuales sin tratar, la eficiencia del tratamiento preliminar y las características constructivas del reactor, cuando el dispositivo de desescoriación entre en funcionamiento.
El separador trifásico debe estar integrado en el sello de agua para permitir el control de las presiones internas y, en consecuencia, el ajuste de los niveles de agua en relación con el canal de recolección de espumas.
Las canaletas de recolección de espumas deben colocarse preferentemente junto a una de las paredes del separador trifásico y no cerca del centro. El posicionamiento del canal junto a uno de los laterales permite una mayor pendiente de la hoja y una mayor eficacia en la eliminación de la espuma.
Proporcionar boquillas de extracción a lo largo del canal de recolección de espuma, para permitir condiciones hidráulicas más adecuadas para el flujo de espuma.
La frecuencia idónea de eliminación de espumas en el interior de los separadores trifásicos debe establecerse mediante inspección visual, que puede realizarse abriendo las trampillas de cierre hermético (o desde ventanas transparentes, si las hay), antes y después de cada operación de eliminación. La práctica operativa del reactor permitirá establecer la mejor rutina de disposición (frecuencia y tiempo de disposición, grado de apertura de válvulas, volúmenes removidos).

## Lineamientos

Es posible incorporar sello de agua utilizados para el control de la presión y nivel de espuma dentro de las campanas de biogás

Para los reactores UASB se recomienda la inclusión de una canaleta interna del sistema de recolección de biogás con la finalidad de prevenir problemas de operación con el manejo de las espumas. Estas deberán incorporarse en todas las campanas de recolección de biogás de los UASB.

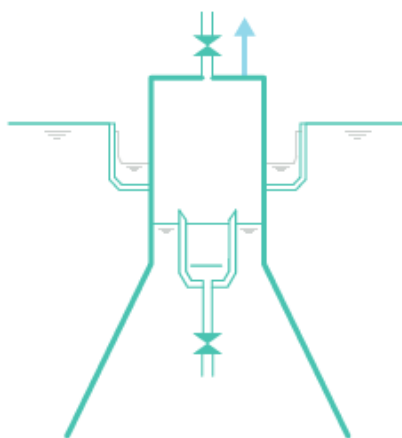


Figura 18. Esquema de la canaleta de recolección de espumas. (Chernicharo, y otros, 2018)

Con respecto al manejo y disposición de las espumas, Chernicharo (2018) recomienda la inclusión de un tamiz estático para la retención del material grosero en la fracción de la espuma, un adensador y un lecho de secado. El material grosero de la fracción de la espuma retenida en el tamiz podrá ser descartado al relleno sanitario directamente. Por otra parte, la fase líquida se enviaría a los lechos de secado para su deshidratación con lodos de descarte. Los lixiviados restantes deberán retornarse al inicio del sistema de tratamiento.

### Hermeticidad de reactores

Previo al arranque de los reactores anaerobios, es relevante la realización de pruebas de presión y hermeticidad en las líneas de recolección de biogás, separadores trifásicos y registros de inspección para evitar problemas futuros como fugas de gases, riesgos

explosión y generación malos olores. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

Las pruebas de hermeticidad se realizan a partir de la inyección de aire o nitrógeno en el interior de los reactores, o de pruebas más elaboradas mediante presurización intencional para la detección de fugas y prevención de problemas.

### **Corrosión de reactores**

Durante la digestión anaerobia del agua residual se presentan diferentes reacciones químicas y bioquímicas que podrían comprometer las estructuras de concreto. Por ejemplo, la reacción que comúnmente ocurre en la interfase líquido/aire de los reactores anaerobios es la liberación del gas sulfhídrico ( $H_2S$ ). El  $H_2S$ , al interactuar con el oxígeno atmosférico, se convierte en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), el cual es sumamente agresivo con el concreto, ya que interactúa con el carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) presente en su composición, con lo que se forma sulfato de calcio, lo que inevitablemente compromete las características físicas, químicas y estructurales del cemento y promueve su disociación. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

Dichas reacciones químicas mencionadas se presentan de la siguiente manera:



Como recomendación para la construcción de los reactores UASB, se deben de utilizar materiales que ofrezcan alta resistencia, baja porosidad y el curado adecuado, esto minimiza la aparición de fisuras y posibles fugas del biogás en la superficie de las estructuras del concreto.

Según Sperling (2007) los efectos de la corrosión se pueden mejorar o inhibir mediante la aplicación de recubrimientos resistentes a los ácidos. Algunas posibles soluciones de revestimiento como la pintura del reactor con caucho clorado o epoxi bituminoso. Estos materiales funcionan como barreras químicas para las superficies de concreto expuestas a ambientes altamente agresivos.

## Sistema de biogás

El biogás producido en los reactores y recuperado en las campanas de separador trifásico deberá ser quemado o aprovechado para evitar su emisión a la atmósfera como gas de efecto invernadero o malos olores. Sin embargo, el biogás al ser un combustible es necesario contar con medidas para los riesgos asociados y el tratamiento de este.

Entre los principales componentes del sistema de manejo y quema del biogás se encuentran (Sperling, 2007):

- Tuberías de colección y transporte
- Un compartimiento sellado con sello hidráulico y purga del biogás
- Medidor de caudal del biogás
- Reservorio de biogás (En caso de no contar con reservorio para el biogás, se deberá de contar con una válvula de seguridad y quemador de biogás)
- Quemador

Por otra parte, el medidor de biogás permite el monitoreo de la cantidad de biogás y evaluar el proceso de eficiencia del reactor. Con la finalidad de evitar daños en el flujómetro de biogás por el arrastre de líquidos condensados en la tubería de conducción, se recomienda que velocidad del biogás en la tubería de conducción no exceda los 3,5 m/s (Sperling, 2007).

## Sistema de toma muestras de lodos

Los reactores UASB deberán de contar con pileta y válvulas a diferentes alturas del reactor con la finalidad de poder tomar muestras a diferentes alturas del reactor y conocer las cantidades y la calidad de la biomasa dentro del reactor. A partir del monitoreo de los lodos mediante muestras puntuales a diferentes alturas, se podrá identificar la altura y la concentración del lecho de lodos dentro del reactor para el establecimiento de las descargas de lodo de exceso.

Así, para posibilitar la extracción y caracterización de la biomasa en los diferentes niveles del compartimento de digestión, se recomienda la instalación de válvulas, desde la base del reactor, con las siguientes características (Sperling, 2007):

- Espacio entre tuberías de muestras a la altura del reactor: 0,5 m. Donde el primer punto a la misma altura que el depósito de fondo (0,20 a 0,30 m del fondo) y el último a la interfaz de los compartimentos de digestión y sedimentación. Los otros puntos de muestreo deben distribuirse uniformemente entre el primer y el último punto de muestreo, siendo ideal un mínimo de 4 puntos de muestreo

(Chernicharo, y otros, 2018).

- Diámetro de tubería de muestras: 50 mm.
- Tipo de válvulas: Válvulas de bola. Se recomienda el uso de un registro metálico seguido de un registro de PVC en todos los puntos de muestreo de lodos (Chernicharo, y otros, 2018).
- Previsión de caja interruptora para registros de muestreo de lodos que permita el correcto trabajo del operario, prestando atención a la necesidad de manipulación de botellas de recogida y limpieza de las instalaciones.



Figura 19. Ejemplo de un sistema de toma muestras de lodos en un reactor UASB. (Chernicharo, y otros, 2018)

### Sistema de descarte de lodos

El descarte de lodos de los reactores UASB es fundamental para asegurar la eficiencia de este y mantener un balance entre la biomasa actual y la biomasa a producir dentro del reactor. Los lodos en exceso son removidos periódicamente del reactor por medio del sistema de descarte de lodos. Esto a su vez, permite retirar del reactor material inerte acumulado en el fondo del reactor. Para brindar una mayor flexibilidad operativa, se recomienda prever conjuntos de tuberías de eliminación de lodos a dos profundidades diferentes dentro del compartimiento de digestión del reactor: un conjunto inferior, ubicado entre 0,20 y 0,30 m sobre el fondo del reactor; y un conjunto superior, situado entre 1,00 y 1,50 m sobre el fondo del reactor. El juego inferior de tuberías permite la disposición de lodos más concentrados, que tienen mejores condiciones de sedimentación, mientras que el juego superior permite la extracción de lodos menos concentrados, con peores condiciones de sedimentación. (Chernicharo, y otros, 2018)

Las tuberías y válvulas inferiores de evacuación de lodos deberán tener un diámetro

interior útil mínimo de 150 mm. Para las tuberías y válvulas superiores de eliminación de lodos, se puede adoptar un diámetro interno de 100 mm (Chernicharo, y otros, 2018).

Sperling (2007) recomienda al menos dos tuberías de extracción de lodos en el reactor, donde se debería cerca del fondo y otro a una altura 1-1,5m por encima (dependiendo de la altura del compartimiento de digestión. Sin embargo, Chernicharo, y otros (2018) definen que es necesario proveer de una tubería de eliminación de lodos de fondo por cada 20 a 30 m<sup>2</sup> de área del reactor. Para la disposición de lodos de la parte superior y menos concentrados, se pueden utilizar áreas de influencia mayores (30 a 50 m<sup>2</sup>) o evaluar la posibilidad de utilizar una sola tubería de gran diámetro interconectada a ramales colectores de 100 o 150 mm. La tubería de gran diámetro debe ser dimensionada con miras a lograr pérdidas de carga próximas a cero, considerando el caudal total resultante de la suma de los ramales colectores conectados a ella.

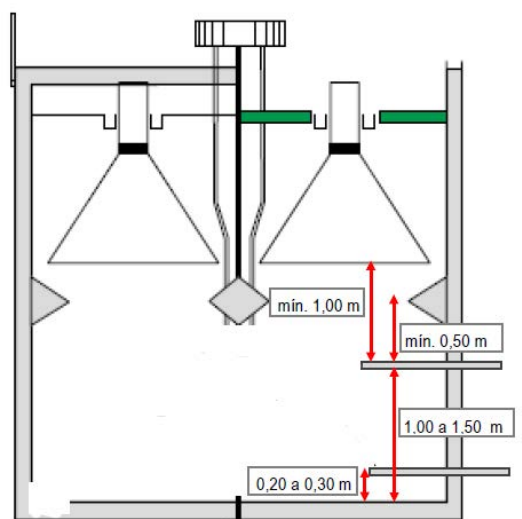


Figura 20. Ejemplo de la ubicación de las tuberías de descarte en un reactor UASB. (Chernicharo, y otros, 2018)

### 4.2.2.3. Filtros Percoladores

A continuación, se presentan algunas especificaciones técnicas que las unidades de filtros percoladores deberán de contemplar en su diseño final:

#### Medio filtrante

El medio filtrante de piedra natural es recomendable extraerse de una fuente local debido al costo del transporte a largas distancias. Estos materiales se extraen para

obtener agregados y rellenos en la industria de la construcción. Por lo general, habrá más de una fuente de piedra natural disponible y los tipos de roca preferidos incluyen (Water Research Commission, 2002):

- Roca basáltica (andesitas, basálticas, etc.)
- Roca gabro (diorita, norita)
- Roca granítica (granitos)
- Roca cuarcita (cuarcitas)

También se pueden considerar rocas sedimentarias como las dolomitas. Debe confirmarse la durabilidad a largo plazo de la roca sedimentaria.

Las propiedades de los medios son de interés debido al impacto significativo en el rendimiento del filtro percolador. Las propiedades clave de interés incluyen:

- Tamaño de la roca, como se refleja en la distribución de tamaño
- Espacio vacío entre roca
- Forma de la roca, reflejada por la descamación
- Superficie por unidad de volumen ( $m^2/m^3$  de medio)
- Durabilidad

Estas propiedades físicas determinan una serie de parámetros del proceso del filtro percolador, como la capacidad de soportar el crecimiento biológico, el lavado eficaz para mantener una biopelícula saludable, la distribución uniforme de las aguas residuales, la ventilación libre para garantizar las condiciones aeróbicas, la acumulación y el desprendimiento de biomasa (Water Research Commission, 2002).

En la Tabla 38 se comparten algunas características físicas de las piedras para el material de empaque de los filtros percoladores.

Tabla 38. Características físicas de la piedra como material de empaque para los filtros percoladores (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Material empaque	Tamaño nominal (cm)	Peso aproximado ( $kg/m^3$ )	Área superficial aproximada ( $m^2/m^3$ )	Espacio vacío	Aplicaciones
Piedra río (Pequeña)	2,5 - 7,5	1250 - 1450	60	50	Nitrificación
Piedra río (Grande)	10 - 13	800 - 1000	45	60	Remoción DBO y Nitrificación

La tasa hidráulica del prediseño del filtro percolador considera remoción de DBO y una nitrificación parcial del efluente, por lo cual, se recomienda iniciar en el fondo del filtro con tamaño nominal de piedra de 10 cm, reduciendo el tamaño nominal a medida que aumenta la altura hasta un mínimo de 2,5 cm.

### **Sistema de distribución rotario de caudal**

El sistema de distribución rotario podrá mantener los 4 brazos de distribución propuestos o hacer los cambios y cálculos necesarios para incorporar únicamente 2 brazos de distribución. El equipo de distribución deberá ser impulsado por motor o autopulsado. La velocidad rotacional es reducida en proporción a la cantidad de brazos del equipo distribuidor.



Figura 21. Ejemplo del equipo del sistema distribución rotatorio

Según Qasim & Zhu (2018) las pérdidas de carga a través de los brazos de distribución pueden rondar los 0,5 a 1,5 m. Es importante realizar los cálculos hidráulicos finales para que los equipos de distribución rotatorios en condiciones de caudales mínimos y máximos.

Water Research Commission (2002) establece que para el análisis hidráulico de los equipos distribuidores rotatorios se deberá de analizar las pérdidas de carga en la columna central del equipo, las pérdidas de carga a través de las tuberías de distribución y las pérdidas de carga causadas por el movimiento de rotación del distribuidor

#### 4.2.2.4. Sedimentadores secundarios

A continuación, se presentan algunas especificaciones técnicas que las unidades de sedimentadores secundarios deberán de contemplar en su diseño final:

##### **Estructuras de ingreso y salida**

La estructura de entrada debe proporcionar una distribución uniforme del flujo, disipar la energía del afluente, mitigar las corrientes de densidad, minimizar la perturbación del manto de lodo y promover la floculación.

En los sedimentadores rectangulares, el flujo del influente generalmente se distribuye a lo ancho por un canal de entrada con puertos sumergidos o un vertedero de desbordamiento, o un colector circular o tubería con laterales. El canal de entrada tiene una velocidad mínima de 0,3 m/s al 50 % del caudal de diseño para evitar la sedimentación de sólidos. (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

La estructura del efluente debe recolectar uniformemente el flujo del efluente, minimizar la velocidad del flujo ascendente y minimizar la pérdida de sólidos en suspensión en el efluente. La velocidad de flujo ascendente en las proximidades del vertedero de efluentes debe ser de 3,5 a 7 m/h.

##### **Retorno de lodos a los reactores UASB**

Es necesario el mantenimiento de bajas concentraciones de lodos en los sedimentadores secundarios. La compatibilidad del crecimiento efectivo de lodos en los reactores UASB con el dimensionamiento del sistema de deshidratación tiende a reducir la demanda en la etapa de sedimentación secundaria, debido a menores concentraciones de SST en el efluente anaeróbico y postratamiento por los filtros percoladores. En consecuencia, la carga de lodos aeróbicos enviados a los reactores UASB tiende a ser menor, así como las concentraciones de lodos en los sedimentadores secundarios tienden a ser menores. Se recomienda que la concentración de lodos en la etapa de sedimentación secundaria no supere el 1,0% SST (Chernicharo, y otros, 2018).

#### 4.2.2.5. Desinfección

A continuación, se presentan algunas especificaciones técnicas que la unidad de desinfección deberán de contemplar en su diseño final:

## Componentes del canal con sistema de desinfección UV

Según Qasim & Zhu (2018), entre los componentes principales para un sistema de desinfección UV se encuentran:

### Canal de desinfección

El canal UV es un canal largo y angosto y alberga los bancos UV. El flujo ingresa a la estructura afluyente antes que los canales UV. La estructura del afluyente tiene compuertas de vertedero rectangulares ajustables para regular y distribuir el flujo en los canales UV. El canal simula un reactor de flujo pistón con mínima dispersión y máximo tiempo de contacto. Es deseable cierta turbulencia axial en la dirección del flujo para una distribución uniforme de la energía UV en el campo de intensidad no uniforme del reactor. Normalmente se requiere un número de Reynolds  $NR.6000$  a la mitad del flujo mínimo. La turbulencia excesiva está asociada con la pérdida de carga, que es una función de la velocidad. La pérdida de carga es un factor de control en el diseño de un reactor. Los módulos de lámpara deben utilizar el volumen máximo. Las zonas muertas o los cortocircuitos provocarán un uso ineficaz de la energía de la lámpara.

### Bancos Ultra Violeta

Según los requisitos de inactivación, normalmente se proporcionan dos o más bancos de UV en serie en cada canal. Cada banco UV contiene muchos módulos UV de acero inoxidable, y cada módulo contiene la cantidad necesaria de lámparas UV que pueden instalarse horizontal o verticalmente. Los módulos UV se mantienen en el marco de soporte con el mango del módulo sobre el agua. El módulo es recuperable para facilitar el acceso a las fundas y lámparas para el mantenimiento. Las lámparas se encierran individualmente en mangas de cuarzo y se sumergen en el canal. El número de lámparas requeridas debe calcularse para diferentes condiciones de flujo y calidad microbiana del efluente para cumplir con los requisitos del permiso para descarga o reutilización. Estas condiciones de flujo pueden incluir (1) promedio diario, (2) promedio máximo de 7 días, (3) promedio máximo de 30 días, (4) clima seco máximo, (5) clima húmedo máximo y (6) clima seco mínimo.

### Sistema suministro energía

Cada banco de UV generalmente recibe el servicio de un centro de suministro de energía que contiene los balastos para alimentar las lámparas de UV. El número y tipo de balasto y el requisito de potencia del módulo UV dependen del número y tipo de lámparas en el módulo UV. Cada módulo UV está conectado mediante un cable de alimentación desde un conector hermético al centro de distribución de energía (PDC).

### Sistema moniteo y control

Cada banco UV normalmente está equipado con al menos un sensor de intensidad UV sumergible que mide la intensidad de la luz UV a 254 nm en el banco UV. Los datos de monitoreo de la intensidad UV se transmiten al centro de control del sistema UV (SCC) que encenderá y apagará automáticamente los bancos UV y ajustará la potencia de la lámpara según el flujo y la intensidad UV. Hay SCC basados en microprocesadores o basados en PLC. Los controles y pantallas típicos incluyen (1) datos de suministro de energía eléctrica, (2) datos de flujo, (3) intensidad UV, transmitancia y dosis, (4) selección de modo de control, (5) modo de funcionamiento del módulo UV y estado de falla, y (6) alarmas por baja intensidad de UV, fallas de lámparas y disparo del interruptor. Estos controles y pantallas pueden proporcionarse mediante interruptores, botones, teclado de mensajes, pantalla de cristal líquido (LCD), diodo emisor de luz (LED) y/o interfaz hombre-máquina (HMI) con pantalla táctil/a color.

### Sistema control de nivel

El sistema de control de nivel normalmente se instala en el extremo aguas abajo del canal UV. Utiliza un dispositivo de control de nivel especial para mantener el nivel del efluente a una profundidad adecuada a través del canal UV incluso con flujo variable. Esto mantiene las lámparas UV en una inmersión uniforme. Estos dispositivos incluyen (1) compuerta de vertedero rectangular ajustable motorizada, (2) compuerta contrabalanceada automática y (3) vertederos de dedos fijos. La compuerta del vertedero ajustable es controlada continuamente por un controlador basado en los datos de monitoreo de un sensor de nivel instalado en el canal UV. La placa del vertedero se mueve verticalmente para mantener la superficie del agua cerca del punto de ajuste de diseño. La compuerta contrabalanceada consta de una placa deflectora balanceada con pesos. El deflector se abre parcialmente automáticamente en proporción al flujo y libera el exceso de descarga para mantener el nivel de líquido casi constante en el canal, independientemente del caudal. Debido a la gran longitud del vertedero, los vertederos de dedos se pueden usar para mantener un nivel de agua relativamente constante dentro de un rango de flujo moderado. Este es un método simple y rentable para aplicaciones de flujo pequeño a mediano.

## 4.2.2.6. Desfogue de las aguas residuales

### Ubicación del cabezal de desfogue

Según lo definidos por Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017),

la ubicación del cabezal de desfogue se deberá ubicar sobre el nivel de agua del cuerpo receptor. El diseño final debe considerar entre otros aspectos los niveles de estiaje y de época lluviosa. Debe contar con aletones de alta resistencia a la abrasión y erosión. La descarga no debe ser contraria a la dirección del flujo, se debe preveer que por efecto de la descarga no se generen alteraciones en la margen opuesta al punto de descarga.

La entrega de las aguas del efluente a un cuerpo receptor debe tomar en cuenta el nivel máximo probable de avenidas, con el objetivo de no obstaculizar la incorporación del efluente; la descarga debe realizarse a un ángulo igual o inferior a 45° en la dirección del flujo del cuerpo receptor.

Por otra parte, según el estudio hidrológico realizado en el terreno de la PTAR, a través de la información sobre el levantamiento topográfico de la zona de estudio y la información hidráulica proveniente de los resultados obtenidos en la sección de hidrogramas, utilizando el valor de caudal pico para un periodo de retorno de 100 años, se obtuvieron los resultados para la profundidad del agua en la zona de estudio delimitada alrededor del lote donde se ubicará la PTAR.

En la Figura 22 y Figura 23 se aprecia la afectación de un evento natural extremo para un periodo de retorno de 100 años. Es importante indicar que el nivel de agua cercano a las unidades de tratamiento andan en el orden centímetros, por lo que no afectarían las estructuras ni el proceso de tratamiento de aguas residuales y sus subproductos. Sin embargo, el cabezal de desfogue quedaría con una descarga ahogada mientras se desarrolla dicho evento natural. Por lo cual, el diseño final deberá de incluir todas aquellas acciones de prevención y mitigación para atender un evento natural extremo. Estas acciones podrían ser: a) la incorporación de válvulas que impidan el ingreso de aguas a la tubería de desfogue de aguas residuales tratadas; b) el aumento del nivel de muros de unidades de tratamiento como los sedimentadores secundarios, canal de desinfección y lechos de secado; c) sacar de operación la PTAR mientras niveles de agua en la Quebrada La Danta deciendan; d) entre otros. Por otra parte, otra alternativa para prevenir que el cabezal de desfogue opere con una descarga ahogada, es diseñar y ubicar el cabezal de desfogue a un mayor nivel del terreno, sin embargo, esto implicaría que el traslado de las aguas residuales de la última unidad de tratamiento (desinfección) al cabezal de desfogue no podría realizarse por gravedad, por lo que requería de una estación de bombeo únicamente para ese traslado de las aguas residuales y eso implicaría aumento en los costos de inversión, operación y mantenimiento de la PTAR.

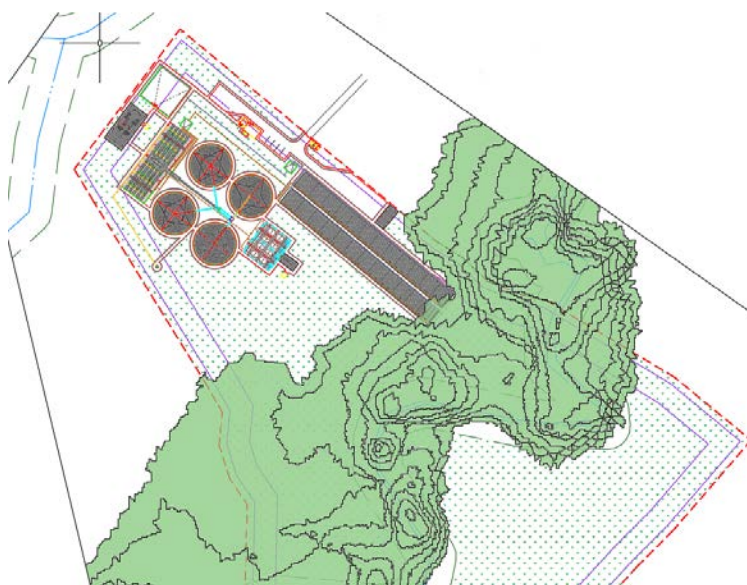


Figura 22. Afectación del crecimiento del nivel superficial de la Quebrada La Danta para un evento de lluvias para un periodo retorno de 100 años.



Figura 23. Perfil del nivel de agua de la Quebrada La Danta en condiciones ordinarias y en un evento de lluvias para un periodo retorno de 100 años.

#### 4.2.2.7. Lechos de secado

Los lechos de secado representan tanques con elementos como un medio de drenaje, capas de soporte y sistema de drenaje, los cuales permiten el filtrado de agua y retención de sólidos.

El medio de drenaje permite la percolación del agua presente en los lodos mediante

capas de arena y grava. Dichas capas de materiales son colocadas por tamaños de granos incrementando su diámetro de 0,3 mm en la parte superior hasta 76 mm en la parte inferior, para una profundidad total aproximada de 0,5 m.

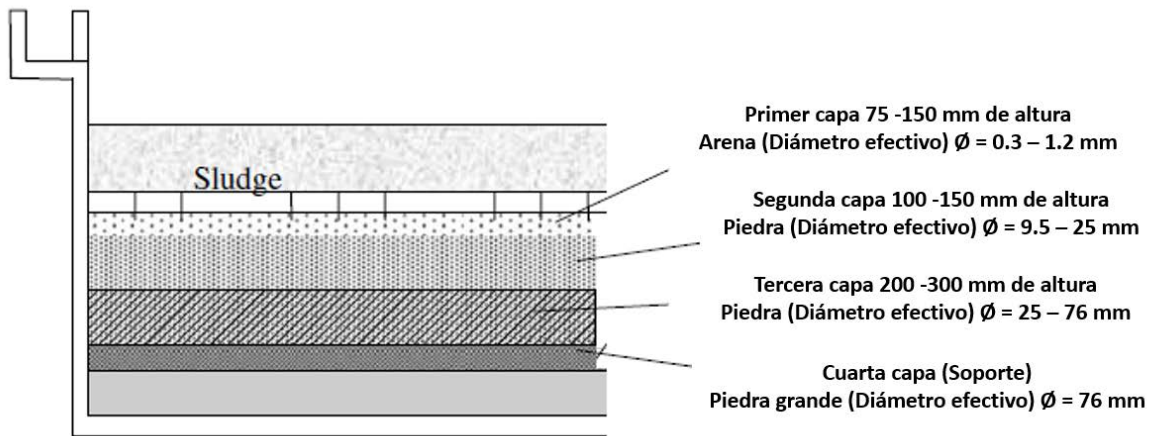


Figura 24. Detalle del medio de drenaje (Sperling, 2007).

La capa de soporte se construye con ladrillo u otro material capaz de resistir la operación de remoción de lodos secos. Los elementos generalmente se disponen como se muestra en la Figura 25 con juntas de 20 a 30 mm con arena de grano grueso. La capa de soporte permite una mejor distribución del lodo, evita la obstrucción de los poros del medio de drenaje y asegura la eliminación del lodo deshidratado sin perturbar las capas del medio de drenaje.

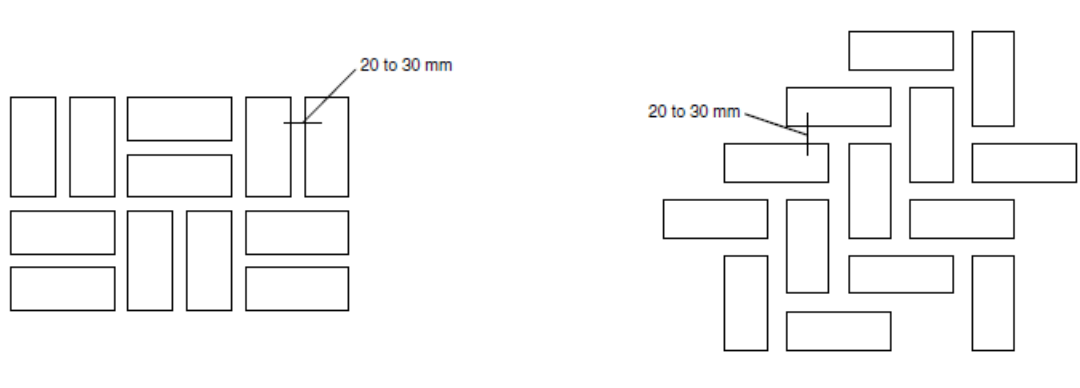


Figura 25. Detalle de como de la capa soporte utilizando ladrillos (Sperling, 2007).

Por último, el sistema de drenaje deberá contar con una tubería perforada de al menos 100 mm para la recolección de los líquidos percolados que atraviesan las capas de soporte y medio filtrante. La distancia entre tubería de recolección no debe superar los

3 m y el piso de la estructura del tanque debe ser impermeable y tener una pendiente mínima de 1% (Sperling, 2007).

Los lodos que se encuentran digeridos (pequeña fracción de contenido de sólidos biodegradables), y sometidos a secado natural tienen características satisfactorias, lo que permite deshidratarlos en un corto período de tiempo. Los lechos de secado de lodos pueden ser construcciones al aire libre o estar cubiertos para protegerlos de la lluvia. El secado se lleva a cabo como un proceso por lotes, encaminando secuencialmente el lodo a varios lechos de secado (Sperling, 2007).

Durante la mayor parte del período de deshidratación, el agua se filtra fácilmente a través del lecho de drenaje, hasta el momento en que el lodo se deposita y se convierte en una masa pastosa espesa. A partir de este momento, la percolación prácticamente finaliza y se logra el secado por evaporación natural.

El nivel de estabilización del lodo puede derivarse de las características finales del lodo deshidratado, como se describe a continuación (Sperling, 2007):

- Lodo seco con fisuración escasa y fina: indicación de un lodo bien digerido con bajo contenido de agua.
- Gran número de grietas de tamaño mediano: indicación de un lodo digerido con alto contenido de agua.
- Pequeñas cantidades de grietas anchas: indicación de un lodo pegajoso mal digerido, que requiere largos períodos de secado.

Además de las características físicas de los lodos, las condiciones climáticas también influyen en el desempeño de este tipo de procesos. El secado natural puede promover una eliminación considerable de organismos patógenos debido a la exposición a la luz solar. Considerando lo anterior se recomienda la colocación de un techo con láminas de policarbonato, láminas plásticas transparentes o similar.

### **Opciones de aprovechamiento de los biosólidos de la PTAR**

En Costa Rica se cuenta con el Reglamento para el Manejo y Disposición final de Lodos y Biosólidos N°39316-S, el cual establece parámetros obligatorios de medición y cumplimiento para los lodos a disponer. En la Tabla 39 se establece los parámetros a medir según el tipo de disposición final planteado.

Tabla 39. Parámetros de análisis obligatorio de los biosólidos ordinarios para su disposición final en

rellenos sanitarios y suelos.

Tipo biosólido	Relleno Sanitario	Disposición en suelos
Ordinarios	Porcentaje Humedad	Porcentaje de humedad
		Coliformes fecales
	pH	Nematodos Intestinales
		pH

En el Tabla 40 se presenta los parámetros máximos permisibles según el tipo de disposición.

Tabla 40. Límites permisibles para los parámetros de análisis obligatorio de los biosólidos de tipo ordinario, según disposición final.

Tipo biosólido	Relleno Sanitario	Disposición en suelos	
		Tipo A <sub>1</sub>	Tipo B <sub>2</sub>
Humedad máxima (%)	75	75	75
Coliformes fecales (UFC/g)	No aplica	2000	2x10 <sup>6</sup>
pH (Rango)	5 -12	5 -12	5 -12
Huevos de helmintos patógenos (Número/gramos sólidos totales) (Máximo)	No aplica	1	10

Para el caso de los lodos provenientes de la PTAR de La Fortuna, estos tienen cinco posibilidades:

- Relleno sanitario.
- Disposición en terrenos donde pueda existir contacto directo con el público (Tipo A<sub>1</sub>).

- Disposición en terrenos donde no exista contacto directo con el público (Tipo B<sub>2</sub>).
- Terrenos para uso agrícola: la disposición debe cesar dos semanas antes de la cosecha (Tipo B<sub>2</sub>).
- En terrenos donde haya pastoreo de ganado, pero no deben estar presentes durante los 15 días subsiguientes a la disposición de los sólidos (Tipo B<sub>2</sub>).

Por lo que dependiendo del uso que se le desee dar a todos sólidos, así se debe de cumplir con los parámetros máximos permisibles de la tabla anterior. Ahora, los parámetros se deben de medir mediante la toma de muestras al biosólido, y se debe de representar un reporte ya sea trimestral o semestral considerando las toneladas de biosólido en base seca por año, este como complemento al reporte operacional de aguas residuales que se presenta al Ministerio de Salud. Además, se debe contar con una bitácora de manejo de lodos.

#### 4.2.2.8. Manejo de biogás

##### **Combustión directa del biogás**

En caso de reutilizar el biogás, se recomienda incorporar el quemador de manera continua para oxidar el metano hasta CO<sub>2</sub>. Los quemadores deben ser dimensionados para mantener una capacidad correspondiente al volumen máximo de biogás generado con un factor de seguridad de 10% (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).

Existen los quemadores cerrados, abiertos y los híbridos. Entre las ventajas de los quemadores abiertos es que se puede revisar su funcionamiento a simple vista y son de menor precio. Sin embargo, tienen menor eficiencia de combustión y se requiere una mayor área de seguridad debido a la radiación de calor por la llama. Por otra parte, en los quemadores cerrados la llama queda confinada dentro de la cámara de combustión, generalmente de acero de carbón con aislamiento térmico de cerámica que permite temperaturas internas del orden de 1000°C y temperaturas externas a la pared de acero menores a 80°C. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

A partir de lo anterior se recomienda la instalación de un quemador tipo cerrado para la PTAR de la Fortuna.

Algunas de las especificaciones generales para el quemado del biogás son (Programa

Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017):

- La incorporación de un quemador cerrado debido a que es más eficiente y menos peligroso.
- La temperatura del gas de salida debe ser al menos 900 °C.
- El tiempo de residencia del biogás en el quemador debe ser al menos de 3 segundos.
- El contenido de H<sub>2</sub>S en el biogás que será quemado debe ser inferior a 50 ppmv. De no ser así, se deberá eliminar el compuesto químico por algún método de desulfurización.
- Para prevenir la producción de dioxinas, la concentración de de hidrocarburos halogenados del biogás debe ser menor a 150 mg/m<sup>3</sup>.
- Se recomienda la relación aire:biogás de 10-15:1.

### Instalación y distancias de seguridad

Respecto a la instalación y distancias de seguridad, el decreto N° 39887-S-MINAE Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, no indica las consideraciones específicas de los quemadores. Tampoco se evidencia reglamentación específica en Costa Rica. Por otra parte, en Brasil se cuenta con normativa que indica una distancia de seguridad mínima 30 metros como mínimo entre el quemador y reactor UASB o el gasómetro, y una distancia mínima de 20 metros respecto a instalaciones (ABNT, 1992). Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017) establece que los gases de escape y humos de llama debe instalarse a una altura mínima de 3 metros. Además, se deberá contar con un área de seguridad de un diámetro de 5 metros en caso de ser un quemador cerrado o 15 metros en caso de ser un quemador abierto.

### Encendido y monitoreo de la llama

Para el encendido del sistema se pueden incorporar por chispa que enciende directamente el frente de flama, o bien por llama piloto, el cual asegura que siempre exista llama en el quemador. Para el encendido del quemador suele emplearse una llama piloto que puede utilizar biogás cuando la presión disponible sea superior a 15 mbar (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).

El encendido de la llama puede realizar mediante los siguientes sistemas:

- Autoignición
- Autorreignición
- Ignición manual

- Ignición remota

De lo tipos de encendido mencionados, el dispositivo de ignición está compuesto por transformadores de ignición y electrodos de alto voltaje que generan un arco eléctrico de más de 10 000 V, o bien se utilizan bujías de encendido robustas y de larga durabilidad, las cuales deben tener supresión de interferencia. Es importante, a su vez, contar con un sistema de monitoreo de la llama del quemador (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).

## **Componentes del sistema de quemado del biogás**

### Tuberías de conducción del biogás

A continuación, se presentan algunas consideraciones para el dimensionamiento de las tuberías de conducción (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017) (Caicedo, 2006) :

- Garantizar que las velocidades para la conducción pasiva del biogás (sin soplador) varíen entre 3 m/s (velocidad media) y 5 m/s (velocidad máxima).
- Emplear un diámetro mínimo de 50 mm.
- Prever que una alimentación intermitente de los reactores UASB con aguas residuales o lodo puede causar picos de generación de biogás.
- Determinar que el accionamiento de equipos que consumen biogás puede causar caídas de presión por un corto intervalo de tiempo, lo que provocaría el eventual paro de esos equipos. Por lo tanto, el sistema de recolección y de transporte de biogás debe permitir cierta variación de presión operacional, de modo que se evite el accionamiento innecesario de las protecciones de sobrepresión y vacío.
- Procurar reducir al mínimo las pérdidas de presión en la tubería de conducción de biogás hasta los quemadores o sistemas de recuperación energética.
- Evitar fugas de biogás en las conexiones bridadas.
- Las tuberías de biogás deben instalarse inclinadas en dirección a los puntos bajos en los que el condensado pueda ser eliminado en puntos de purga.
- Instalar dispositivos automáticos para remoción del condensado en los puntos más bajos de las tuberías, en especial en sitios donde la temperatura ambiental pueda ser muy baja o bien un tubo sifón lleno de agua con nivel de columna mayor que la presión dinámica del biogás en ese sitio (sello de agua).
- Considerar utilizar tuberías resistentes a la corrosión, las mismas se deberán definir en el diseño final, sin embargo, materiales como acero inoxidable o en material plástico como el polietileno de alta densidad (HDPE). Debido a su mayor resistencia a la corrosión, hay que utilizar preferencialmente acero AISI 316Ti

(EN 1.4571) en lugar de acero AISI 304 (EN 1.4301). El espesor mínimo de las paredes de los tubos de acero inoxidable debe seguir las prescripciones de las normas ASTM, la norma ISO 4200 Serie A (DIN EN 12255-1), o la guía técnica ATV-DVWK-M 275.

### Filtros del biogás

Como primer filtro para la remoción de partículas grandes presentes es recomendable la incorporación de filtros de grava o cerámica. Deben instalarse manómetros antes y después de los filtros a fin de controlar la pérdida de presión y también para identificar su saturación. Debido a la humedad presente en el biogás y sus características tendientes a ser corrosivas, el material de fabricación de los filtros deberá ser AISI 316 o bien, un acero que tenga un recubrimiento interior sumamente resistente, como la poliurea, el alquitrán de hulla o la fibra de vidrio.

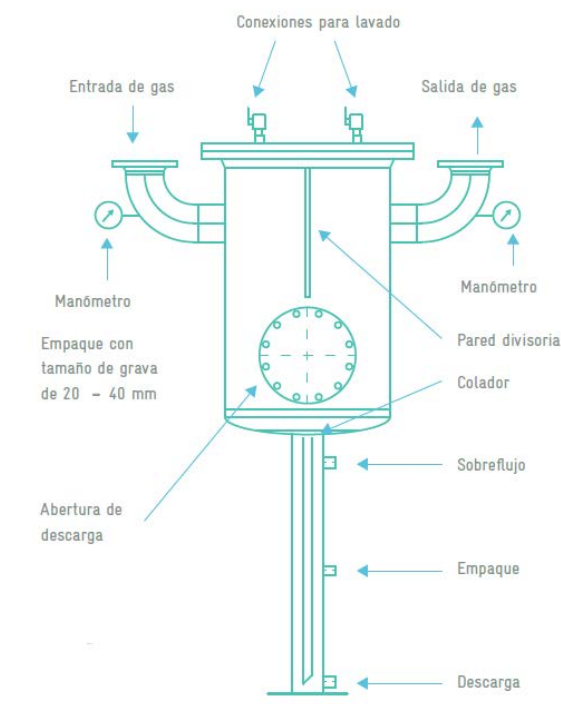


Figura 26. Esquema de filtro para remoción simultánea de sedimentos y de condensados.

### Trampa de sedimentos y condensados

Estos dispositivos permiten remover líquidos y sólidos del biogás húmedo. De esta forma protege de corrosión y taponamiento las tuberías y el equipo instalado corriente abajo. Las trampas de sedimentos y condensados funcionan generando un vórtice en el interior del tanque, de modo que el vapor en el biogás se condensa y se retienen los

sólidos y el agua acumulándose en el recipiente.

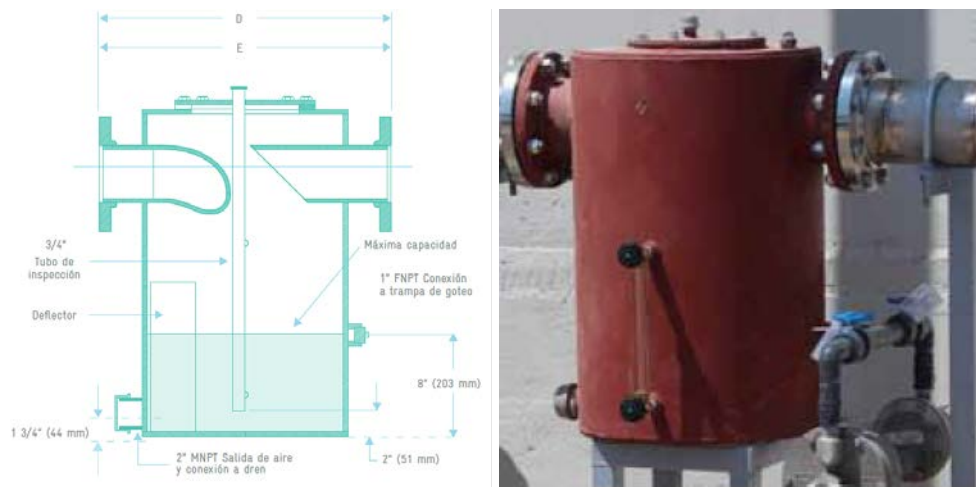


Figura 27. Ejemplo de compartimiento para la captura de sedimentos y condensados. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

### Dispositivos de protección contra sobrepresión y vacío

La válvula de alivio protege el reactor de presión excesiva o alivio de vacío dentro del tanque. El sistema opera a presión, ya que el biogás no es normalmente venteado a la atmósfera. Estos dispositivos funcionan cuando la presión del gas excede los valores de calibración de las válvulas. En el caso de una sobrepresión, el exceso de ésta es aliviado venteando el biogás a la atmósfera. Por otro parte, en una condición de vacío dentro del reactor, entrará aire a este solo para aliviar esta condición. Ambas válvulas permanecen cerradas cuando el sistema trabaja en condiciones normales. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

Por otro lado, el sello hidráulico es un mecanismo que puede actuar como válvula de sobrepresión y vacío. Se trata de un dispositivo de seguridad hidráulico que ofrece, en comparación con otros sistemas, mayor seguridad y menor tiempo de respuesta. En el interior del sello hidráulico ocurre una diferencia de nivel de agua correspondiente a la presión del biogás en el interior del reactor anaerobio. Cuando la presión operacional se incrementa, la diferencia del nivel de agua se eleva hasta la presión de seguridad. Si el aumento de la presión continúa, el biogás es expulsado. Durante la expulsión, el líquido sellador es comprimido en el tanque de compensación. Una vez reducida la presión por debajo de la de expulsión, el líquido regresa sin pérdidas y, de esa forma, la presión de seguridad se preserva después del accionamiento. Cuando la presión es negativa (vacío) o inferior a los valores predefinidos, el agua es "aspirada" y para evitarlo se realiza una conexión con la atmósfera que contrarreste la presión negativa. (Programa

Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

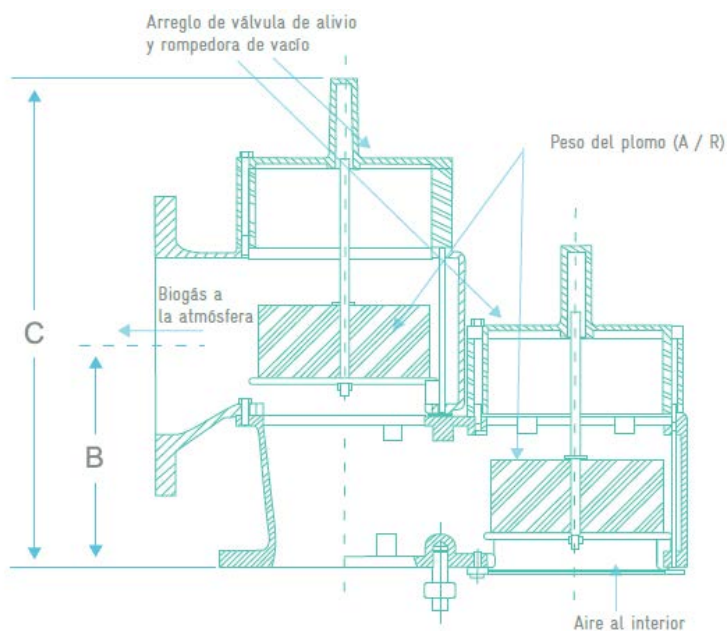


Figura 28. Esquema de válvulas de alivio de presión/rompedora de vacío. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

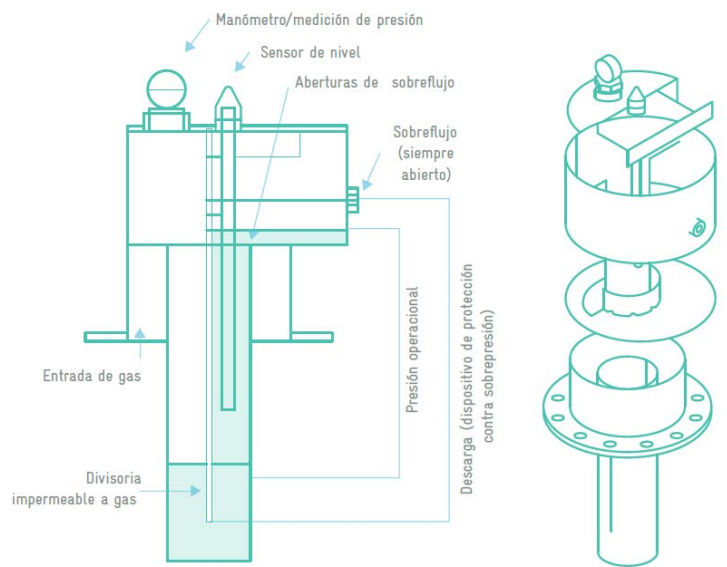


Figura 29. Esquema de sello hidráulico como regulador hidráulico de sobrepresión y vacío. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

Válvulas para control de flujo

El sistema de conducción de biogás debe contar con válvulas que permitan controlar el

flujo. Estas permiten aislar las unides de reactores, gasómetros y equipos cerrados.

### Arrestaflamas y válvulas de corte térmico

Los dispositivos de arrestallamas y válvulas de corte usualmente se colocan previo a equipos de consumo de biogás o con potencial de ignición. En caso de falla estos accesorios pueden proteger los equipos de generación o de almacenamiento de biogás contra llamas que eventualmente se propaguen por la tubería a partir de sopladores o de equipos de consumo de biogás, como calderas y motores de combustión interna. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

Para combatir con eficacia la propagación de una deflagración/detonación es preciso instalar una válvula corta llamas en el punto más próximo posible del equipo que consume el biogás y que potencialmente puede generar una llama o encendido. La distancia máxima admisible entre la fuente de encendido y la válvula corta llamas debe revisarse junto al fabricante, aunque en general no debe ser mayor a 3 metros. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

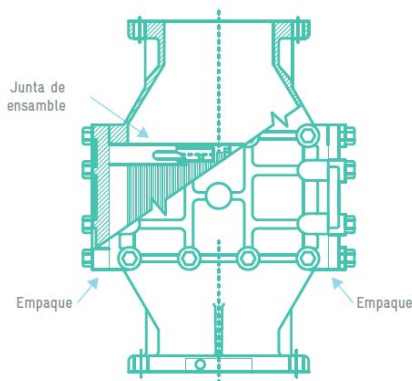


Figura 30. Ejemplo esquemático de arrestaflama vertical, válvula reguladora de presión y arrestaflama horizontal (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)

### Medidores de biogás

Como medidas de control y monitoreo de la producción de biogás, se recomienda incorporar dentro del sistema de quemado de biogás:

- Medidor de la presión del biogás
- Medidor de flujo del biogás
- Medidor de composición del biogás



Figura 31 Ejemplo de manómetro para la medición de presión. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).



Figura 32. Ejemplo de medidor de caudal. (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017).

## Aprovechamiento de biogás para generación de energía

Con el fin de tener un aproximado de la energía que se podría producir al contar con un equipo generador de electricidad a partir de biogás de la PTAR con una micro turbina, se presentan los siguientes cálculos.

Las microturbinas se utilizan cuando hay una recuperación de gas menor a los 8 m<sup>3</sup>/min, con contenidos altos de metano de hasta un 35% (Blanco et al., 2017). Según el predimensionamiento de los reactores UASB, mediante la carga hidráulica y orgánica esperada para el horizonte del proyecto, se esperaría una producción de 3750,8 m<sup>3</sup> por día de biogás, lo que significa 2,6 m<sup>3</sup>/min. A partir de esto, se determina mediante el poder calórico de biogás (6 kWh/m<sup>3</sup> (Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)) se aproxima la energía que podría ser producida:

$$E = \frac{3750.8 \text{ m}^3}{d} \cdot \frac{6 \text{ kWh}}{\text{m}^3} = \frac{22505 \text{ kWh}}{d}$$

Ahora, hay que tomar en cuenta la eficiencia del generador, la cual se asume en 40% para una microturbina de gas.

$$E = \frac{22505 \text{ kWh}}{d} \cdot 0.40 = 9002 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Tabla 41. Estimación de la generación de electricidad a través del metano producido por la PTAR.

Parámetro	Dato	Fuente
Generación de biogás	3750,8 m <sup>3</sup> /día	Este estudio, dimensionamiento de la PTAR
Equivalencia kWh	1 m <sup>3</sup> de metano equivale a 6 kWh	(Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, 2017)
Generación de kWh brutos	22505 kWh/día	Cálculo multiplicando los m <sup>3</sup> de biogás por la equivalencia a kWh
Eficiencia del generador	40%	(Blanco et al., 2017).
Generación de kWh/día	9002 kWh/día	Cálculo multiplicando la generación de kWh por la eficiencia del generador
Generación de kWh/mes	270060 kWh/mes	Cálculo multiplicando la generación diaria por 30 días
Potencia requerida por la PTAR	300 KW	Este estudio, planos eléctricos

Parámetro	Dato	Fuente
Consumo de la PTAR kWh/mes	216 000 kWh/mes	Asumiendo que toda la PTAR con todos sus equipos trabajan las 24 h del día, los 30 días de un mes
Porcentaje que puede cubrir el biogás a la PTAR	125%	Calculo de la generación de kWh/mes del biogás entre el consumo de la PTAR kWh/mes

Con los datos anteriores, se estima de con el biogás generado, este puede abastecer a la PTAR en un 125%, es decir, hay biogás necesario para que la PTAR sea autosuficiente. Ahora, es importante que en el diseño final se considere el factor de planta del equipo generador de electricidad, la eficiencia el mismo, y otras variables para aproximar aún más este dato, y también, que se pueda realizar una comparativa desde el punto de vista económico de adquirir el equipo versus consumir energía brindada por un externo.

Las microturbinas son costosas, pero tienen la ventaja que se pueden quitar o agregar en función el biogás generado. Estas son fáciles de interconectar y generan menos emisiones de óxidos de nitrógeno. Requieren un tratamiento primario del biogás para la remoción de xiloxanos, humedad y material particulado. Las microturbinas se comercializan en tamaños de 30, 70, y 250 kW, y presentan las ventajas de tener un costo de capital reducido, bajo costo de mantenimiento y de las instalaciones, y una eficiencia que aumenta con el tamaño (Blanco et al., 2017).

En Estados Unidos se está trabajando para desarrollar microturbinas de mayor eficiencia (mínimo 40%), que alcancen las 45.000 horas de servicio y mantenimiento cada 11.000 h a un costo inferior a los U\$5500 por kW (Blanco et al., 2017). Por lo que tomando este valor de referencia, para los kW requeridos por la PTAR para abastecerse (300 kW), las microturbinas tendrían un valor aproximado de 150.000 USD. A este valor se le debe de considerar la conducción y el sistema de tratamiento del biogás previo, el cual, según conversaciones con un proveedor, se tiene un estimado grueso de un monto de 350.000 USD. Además, se deben de considerar los montos por conexión eléctrica del sistema, y los costos por operación y mantenimiento.

Otro equipo que se podría considerar para el aprovechamiento energético son los generadores por motor de combustión interna.

### 4.2.2.9. Manejo de olores

#### Identificación de fuentes de emisión de olores

Según Stuetz & Frechen (2001) dentro de las diferentes etapas de un sistema de tratamiento de aguas residuales durante los procesos de operación, los principales grupos de compuestos detectados asociados a los malos olores son:

- Compuestos alifáticos, aromáticos, hidrocarburos clorados y compuestos orgánicos volátiles (COVs).
- Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)
- Compuestos orgánicos de sulfuro
- Aldehídos y cetonas
- Ácidos grasos de bajo peso molecular
- Amoníaco y aminas.

En la Tabla 42 se presenta un resumen de los posibles sitios donde se podrían presentar problemas de olores y las acciones de prevención y mitigación. Se identifican los sitios donde posiblemente se dé la emanación de malos olores y se debería de aplicar medidas de prevención que permitan desarrollar un diseño final de planta de tratamiento con el enfoque de minimizar los olores asociados a los procesos de tratamiento de las aguas residuales previo a las acciones para tratar dicho problema.

En la Figura 33 se muestra la ubicación de las zonas o unidades de tratamiento donde existe el riesgo de generación de olores, donde las zonas con color rojo presentarían las de mayor potencial a la generación de malos olores y las de color verde de menor potencial.

Tabla 42. Identificación de sitios donde se podrían generar olores y las acciones de prevención y mitigación. (Stuetz & Frechen, 2001)

Unidad de tratamiento	Consideraciones para el diseño final
Pretratamiento	Según Stuetz & Frechen (2001), los olores pueden ser liberados en los puntos de descarga, canales, cribado y eliminación de arena (particularmente canales de arena aireados). Los tamices y la arena olerán durante el almacenamiento y la transferencia, especialmente si no son lavados después de la separación. Para la minimización de olores en el pretratamiento el diseño deberá de considerar:

Unidad de tratamiento	Consideraciones para el diseño final
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar la acumulación prolongada de arena.</li> <li>• Lavado de rejillas mediante equipos mecanizados               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar caídas hidráulicas.</li> </ul> </li> <li>• Minimizar la altura de los puntos de descarga, de ser posible realizar descarga por debajo del nivel del agua.</li> <li>• Contar con mecanismos de remoción de grasas y aceites.</li> </ul>
Tanque de homogenización	<p>El tanque de homogenización es una unidad que podría contar con problemas de malos olores debido a que se promueve el almacenamiento temporal de agua cruda, por lo cual, se podrían iniciar proceso de fermentación de grasas, polisacáridos y proteínas que conducen a la producción de ácidos grasos, alcoholes, aldehídos, cetonas, amoníaco, aminas, mercaptanos y sulfuros (Stuetz &amp; Frechen, 2001) Para la minimización de olores en el tanque de homogenización el diseño deberá de considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir la altura de las caídas hidráulicas en el tanque homogenización.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar los volúmenes de operación.</li> </ul> </li> <li>• Inclusión de mezcladores sumergibles para la agitación constante de las aguas residuales previniendo la deposición de sólidos y procesos anaerobios dentro del tanque.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de un tanque cerrado.</li> </ul> </li> </ul>
Reactores UASB	<p>Es importante mencionar que durante los procesos de digestión anaerobia durante la operación ordinaria y adecuada de los reactores UASB, las bacterias metanogénicas destruyen los ácidos grasos volátiles produciendo metano inoloro, azufre orgánico de las proteínas, y azufre orgánico adicional en formas de sulfonatos debido a los detergentes. (Stuetz &amp; Frechen, 2001) Para la minimización de olores en los reactores UASB el diseño deberá de considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir la altura de las caídas hidráulicas en el ingreso a las cajas de distribución de caudal y en los vertederos de salida.</li> <li>• Diseño de un tanque cerrado y accesos con tapas metálicas para la limpieza de cajas de distribución.</li> </ul>
Filtros percoladores	<p>Stuetz &amp; Frechen (2001) indican que los filtros biológicos remueven olores en las aguas residuales mediante la absorción de componentes en el biofilm o película de microorganismos y las oxidaciones bioquímicas. Para filtros de baja tasa o plantas de nitrificación tienen menor potencial de generación de malos olores en comparación con los filtros de alta tasa. Los olores pueden eliminarse de las aguas residuales en la superficie del filtro. La ventilación natural del filtro, que succiona aire a través del filtro cuando la temperatura de las aguas residuales es superior a la temperatura ambiente, puede agravar este problema. Los filtros percoladores puede llegar a ser una fuente de generación de olor si se encuentran sobrecargados, afectados por sustancias tóxicas, o si el medio filtrante se ha deteriorado y se producen áreas de encharcamiento o estancamiento. Para la minimización de olores en los filtros percoladores el diseño deberá considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveer cobertores, ventilación forzada desde la parte superior hasta el fondo del filtro.</li> <li>• Minimizar la distancia entre los brazos distribuidores y la parte superficial del medio filtrante. Evitar el efecto spray en los distribuidores rotatorios.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar recirculación en caso de encharcamientos en el filtro.                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar una adecuada ventilación</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Sedimentadores secundarios	<p>Según Tchobanoglous, Burton, &amp; Stensel (2003) los sedimentadores secundarios tienen un potencial bajo/moderado de generar olores producto de sólidos flotantes o tiempos excesivos de retención.</p>
Lechos de secado	<p>Según Stuetz &amp; Frechen (2001), la liberación de olores del tratamiento térmico de aguas residuales y lodos se produce por la volatilización de compuestos orgánicos restantes en la fase líquida debido al aumento de temperatura, y también por que en la descomposición de las células se libera más materia orgánica incluyendo amoníaco en la fase líquida. Para la</p>

Unidad de tratamiento	Consideraciones para el diseño final
	<p>minimización de olores en los lechos de secado el diseño deberá de considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Canales cerrados para el transporte de drenaje hacia el tanque de homogenización.</li> <li>• Mecanismos para la remoción de clarificados en caso de saturación del lecho de secado.</li> <li>• Tratamientos químicos para el manejo del biosólido en caso de que se presenten malos olores.</li> </ul>

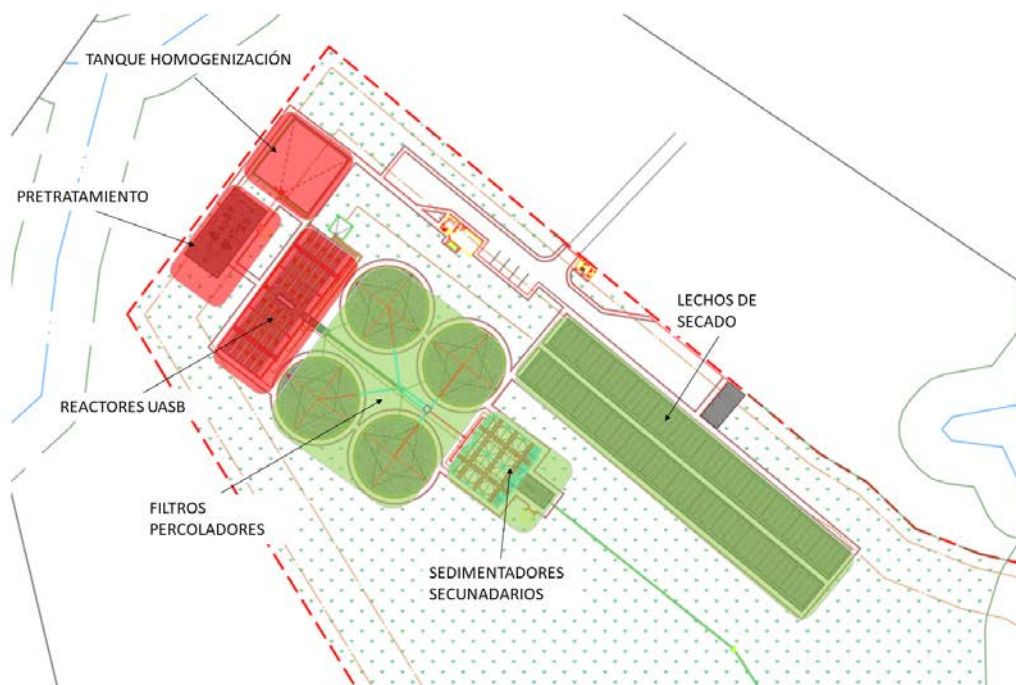


Figura 33. Diagrama de unidades de tratamiento con riesgo de generación de malos olores.

### Propuesta y recomendaciones para el manejo de olores de la PTAR

En la Tabla 43 se define la propuesta y recomendaciones para el manejo de olores en la planta de tratamiento para ser incluidas en el diseño final del proyecto. Por otra parte, en la Tabla 44 se especifican algunas condiciones técnicas para considerar en el sistema de escape y recolección de gases residuales. Finalmente, en la Tabla 45 se presentan algunos tipos de tratamiento que podrían implementarse en el tratamiento de los gases residuales.

Tabla 43. Acciones y recomendaciones para el manejo de las emisiones fugitivas.

Etapa	Unidad	Recomendaciones
	Pretratamiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Pretratamiento mecanizado:</b> Al implementar un pretratamiento mecanizado se puede obtener algunos beneficios como evitar la acumulación prolongada de arena, el lavado de rejillas mediante equipos mecanizados y contar con mecanismos de remoción de grasas y aceites.</li> <li>2. <b>Ajustes en el diseño:</b> Al realizar un análisis de las condiciones hidráulicas se podrá realizar ajustes que permitan la reducción de caídas hidráulica y minimizar la altura de los puntos de descarga, de ser posible realizar descarga por debajo del nivel del agua.</li> <li>3. <b>Incorporar cobertura, sistema de escape y tratamiento de gases residuales:</b> Existe la opción de incorporar una cobertura en el canal de ingreso y pretratamiento como medida de aislamiento de los gases residuales que provienen del alcantarillado sanitario y las actividades de remoción de sólidos, arenas, flotantes y grasas &amp; aceites. Dicha cobertura podría realizarse en diferentes materiales constructivos como concreto, aluminio, acero inoxidable, poliméricos o elastómeros. El confinamiento del pretratamiento deberá contar con un sistema de recolección y escape de los gases de residuales que los conduzca a un sistema de tratamiento de gases residuales.</li> </ol>
Diseño	Tanque Homogenización	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Ajustes en el diseño:</b> Al realizar un análisis de las condiciones hidráulicas se podrá realizar ajustes que permitan la reducir la altura de las caídas hidráulicas en el tanque homogenización, minimizar los volúmenes de operación, inclusión de mezcladores sumergibles para la agitación constante de las aguas residuales previniendo la deposición de sólidos y procesos anaerobios dentro del tanque y la elaboración de un diseño cerrado del tanque.</li> <li>2. <b>Incorporar sistema de escape y tratamiento de gases residuales:</b> El confinamiento del tanque homogenización deberá contar con un sistema de recolección y escape de los gases de residuales que los conduzca a un sistema de tratamiento de gases residuales.</li> <li>3. <b>Incorporar aireación:</b> En el caso extremo que se generen problemas de olores, es posible la inclusión de aireación para prevenir las condiciones anaerobias dentro del tanque de homogenización.</li> <li>4. <b>Medidor de metano:</b> Se sugiere analizar la necesidad de colocación de un medidor de gas metano para obtener información de si se requiere más control sobre el biogás.</li> </ol>
	Reactores UASB	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Ajustes en el diseño:</b> Al realizar un análisis de las condiciones hidráulicas se podrá realizar ajustes que permitan reducir la altura de las caídas hidráulicas en el ingreso a las cajas de distribución de caudal y en los vertederos de salida.</li> <li>2. <b>Incorporar cobertura, sistema de escape y tratamiento de gases residuales:</b> Existe la opción de construir el tanque totalmente cerrado como medida de aislamiento de los gases residuales que provienen de los reactores UASB. El confinamiento de los reactores UASB deberá contar con un sistema de recolección y escape de los gases de residuales que los conduzca a un sistema de tratamiento de gases residuales. Todas las cajas de distribución de caudal para el ingreso de aguas residuales deberán contar con una cobertura, un sistema de recolección y escape de los gases de residuales que los conduzca a un sistema de tratamiento de gases residuales.</li> <li>3. <b>Medidor de metano:</b> Se sugiere analizar la necesidad de colocación de un medidor de gas metano para obtener información de si se requiere más control sobre el biogás.</li> </ol>
	Filtros percoladores	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Ajustes en el diseño:</b> Al realizar un análisis de las condiciones hidráulicas se podrá realizar ajustes que permitan minimizar la distancia entre los brazos distribuidores y la parte superficial del medio filtrante. Evitar el efecto spray</li> </ol>

Etapa	Unidad	Recomendaciones
		<p>en los distribuidores rotatorios. Por otra parte, asegurar una adecuada ventilación del filtro percolador.</p> <p>2. <b>Incorporar ventilación forzada:</b> En el caso extremo que se generen problemas de olores, es posible la inclusión de aireación o ventilación forzada para prevenir las condiciones anaerobias dentro de los filtros percoladores durante los momentos que la temperatura de las aguas residuales sea mayor que la temperatura ambiental y se produzcan diferenciales de presión adversos en el filtro percolador y se generen malos olores.</p>
	Lechos de secado	<p>1. <b>Ajustes en el diseño:</b> El diseño deberá de incluir los canales cerrados para el transporte de drenaje un pozo de bombeo hacia el tanque de homogenización. Además, se podrá incorporar un mecanismo para la aumentar la remoción de clarificados del lecho de secado.</p> <p>2. <b>Tratamiento químico:</b> En el caso extremo que se generen problemas de olores, es posible la inclusión de químicos a los biosólidos para la reducción de olores, por ejemplo, la inclusión de cal.</p>
	Generales	<p>1. <b>Sistema general de recolección y tratamiento de gases residuales:</b> Al realizar un análisis de las condiciones hidráulicas se podrá realizar ajustes que permitan minimizar la distancia entre los brazos distribuidores y la parte superficial del medio filtrante. Evitar el efecto spray en los distribuidores rotatorios. Por otra parte, asegurar una adecuada ventilación del filtro percolador.</p> <p>2. <b>Barreras físicas:</b> Uso de barreras físicas en el perímetro de la PTAR que induzcan turbulencia atmosférica (p. ej. árboles/cortinas verdes y muros de al menos 4 m de altura).</p>

Tabla 44. Algunas recomendaciones para los sistemas de escape y recolección de los gases residuales. (Chernicharo, y otros, 2018)

Componente	Consideraciones para el diseño final
Puntos de escape de gases residuales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tasa de renovación de atmósfera confinada (introducción de aire): en áreas no visitables (acceso parcial), las tasas varían de 4 a 6 renovaciones/h; en ambientes visitables (entrada de operadores), las tarifas son del orden de 10 renovaciones/h.</li> <li>2. Controlar las aberturas de los techos o coberturas hacia el exterior, además de someter el ambiente interno a una presión inferior a la atmosférica (presión diferencial min. 2,5 mm a.c.), brindando condiciones para que el aire ingrese por las grietas y aberturas (velocidad mínima de 6,4 m.s-1), con la garantía de no ocurrencia de emisiones fugitivas</li> <li>3. Debido a la mezcla de O<sub>2</sub> (procedente del aire atmosférico introducido en la cubierta) con CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>S, los caudales deben asegurar que no se formen mezclas dentro de los límites inferior y superior de inflamabilidad o explosividad: 5%v/v a 15% v/v para CH<sub>4</sub>; 4%v/v a 44%v/v para H<sub>2</sub>S. Eventualmente, puede ser necesario monitorear las concentraciones de CH<sub>4</sub> en el sistema de escape.</li> </ol>
Ductos de transporte de gases	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La sección puede ser de sección circular o rectangular.</li> <li>2. Deben estar inclinados para permitir el envío de la humedad condensada a los puntos bajos</li> </ol>

Componente	Consideraciones para el diseño final
residuales	<p>de la red de escape.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Los dispositivos para drenar el condensado deben instalarse en los puntos más bajos de la red de escape.</li> <li>Se deben instalar amortiguadores o válvulas de aguja en cada punto de toma de gases y en los puntos de los ramales de la red de ductos de escape (permiten ajustes de caudal y presión en cada ramal de la red y sirven para aislar una determinada zona del sistema de control de olores en eventos de mantenimiento).</li> <li>Considerar utilizar tuberías resistentes a la corrosión. Se recomienda materiales como acero inoxidable o en material plástico como el polietileno de alta densidad (HDPE). Debido a su mayor resistencia a la corrosión, hay que utilizar preferencialmente acero AISI 316Ti (EN 1.4571). El espesor mínimo de las paredes de los tubos de acero inoxidable debe seguir las prescripciones de las normas ASTM, la norma ISO 4200 Serie A (DIN EN 12255-1), o la guía técnica ATV-DVWK-M 275.</li> </ol>
Ventilador/Soplador	<ol style="list-style-type: none"> <li>Se utilizan ventiladores centrífugos con turbina de álabes inclinados hacia adelante, radiales o hacia atrás.</li> <li>Deben ser de material resistente a la corrosión por una solución de ácido sulfúrico al 10%.</li> <li>Adoptar componentes electromecánicos aptos para áreas peligrosas según las normas y reglamentos que apliquen.</li> </ol>

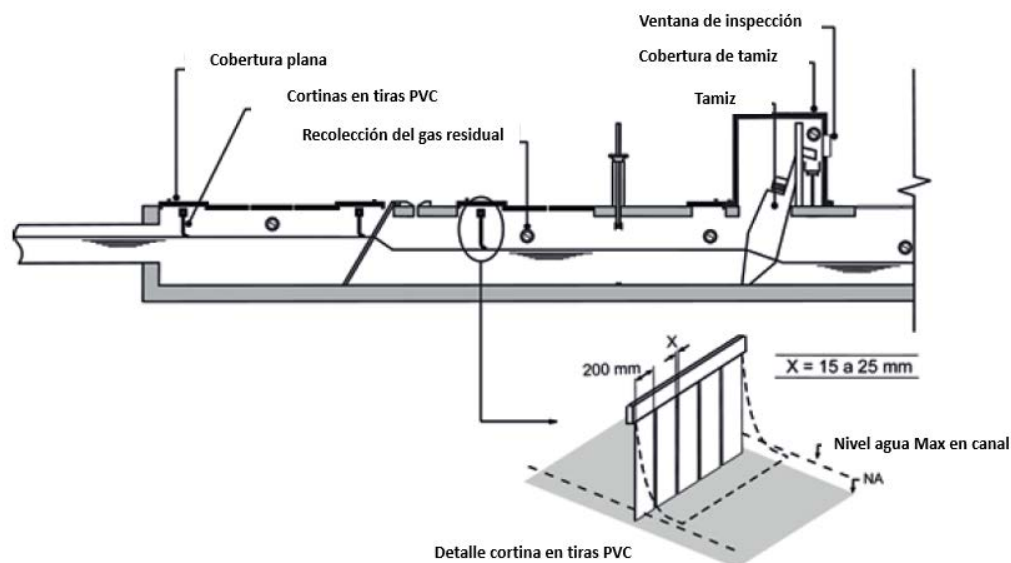


Figura 34. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos para el tratamiento preliminar (Chernicharo, y otros, 2018).

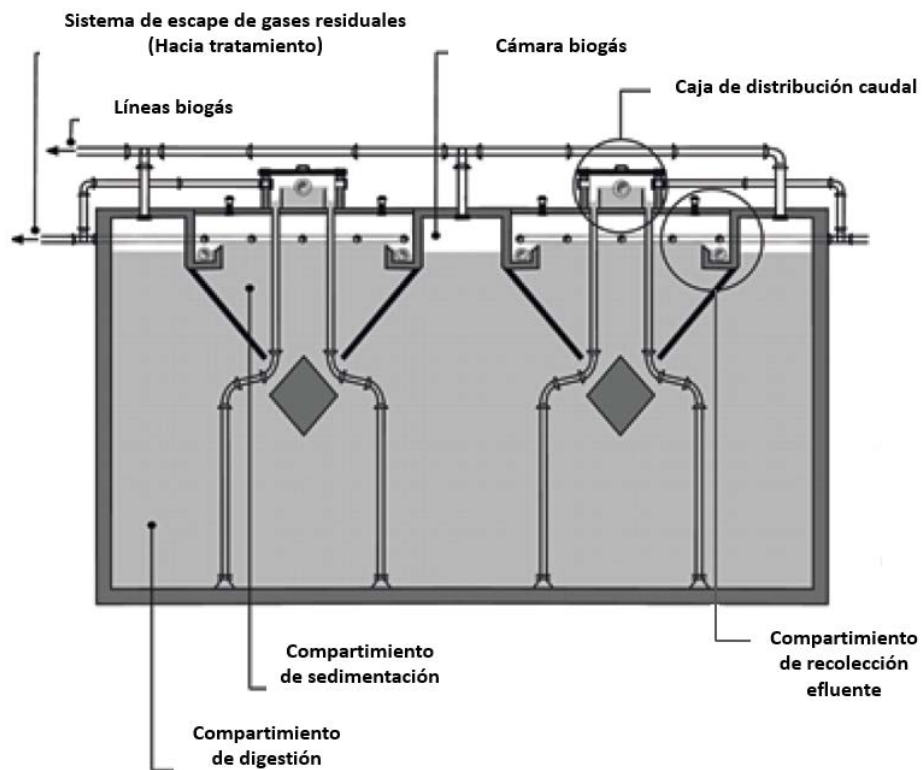


Figura 35. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos dentro de reactores UASB (Chernicharo, y otros, 2018)

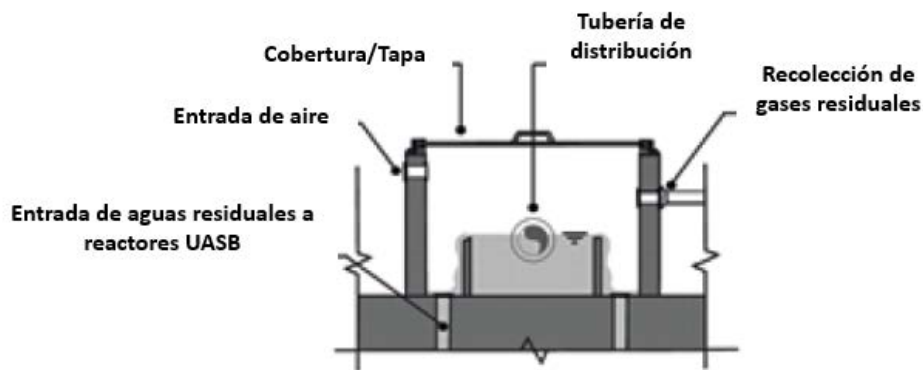


Figura 36. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos para las cajas de distribución caudal en reactores UASB (Chernicharo, y otros, 2018)

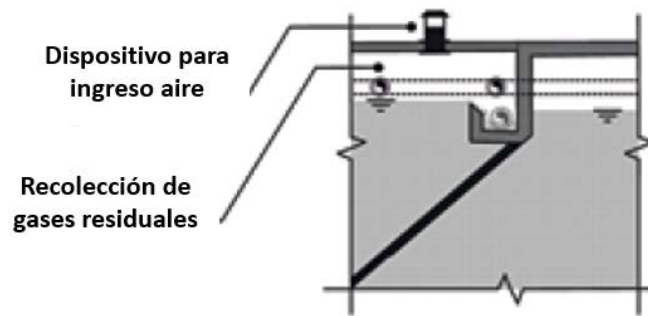


Figura 37. Ejemplo de esquema de contención de olores y gases corrosivos dentro de reactores UASB (Chernicharo, y otros, 2018).

Tabla 45. Tipos de tratamiento de olores de las unidades de tratamiento (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Tipos de tratamiento	Descripción
Tratamientos físicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Absorción en carbón activado</li> <li>2. Absorción en arena, suelo y camas de compost</li> <li>3. Disolución con aire libre de olor</li> <li>4. Agentes de enmascaramiento</li> <li>5. Inyección de oxígeno</li> <li>6. Torres de rociado</li> </ol>
Tratamientos químicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxidación química</li> <li>2. Precipitación química</li> <li>3. Agentes neutralizantes</li> <li>4. Oxidación térmica</li> </ol>
Tratamientos biológicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tanques de aireación</li> <li>2. Biofiltros</li> <li>3. Filtros de compost</li> <li>4. Filtros de arena y suelos</li> <li>5. Filtros percoladores</li> </ol>

Para la propuesta del tratamiento de los olores/gases residuales, se propone inicialmente valorar la utilización de las tecnologías que cuenta la planta de tratamiento de aguas residuales, en este caso, los filtros percoladores. Tchobanoglous, Burton, & Stensel (2003) indican que los gases residuales podrían ser incorporados a filtros percoladores existentes para la remoción de compuestos de olores a través de las diferentes poblaciones de bacterias que se forman en el filtro.

Entre los principales retos para tratar los gases residuales en los filtros percoladores

abiertos, se encuentra: 1) transferencia de los gases residuales de otras unidades de la PTAR a los filtros percoladores y 2) el riesgo de liberación de gases residuales a la atmósfera debido a un tratamiento incompleto por parte del filtro percolador. Por lo cual, se recomienda analizar el potencial de los filtros percoladores para el tratamiento de olores generados en la planta de tratamiento de aguas residuales.

En caso de descartar técnicamente la opción de la utilización de los filtros percoladores, se propone la incorporación de una unidad de tratamiento para los gases residuales, en este caso un biofiltro. La recomendación de la incorporación de un biofiltro se da debido a las necesidades de espacio donde el terreno cuenta aún con espacio disponible y los materiales requeridos para la construcción de estos, los cuales pueden ser accesibles a nivel local. En la Figura 38, Figura 39 y Figura 40 se presentan diagramas de la configuración de biofiltros que podrían incorporarse a las unidades de la planta de tratamiento para el tratamiento de los malos olores que se generan a nivel interno de la PTAR. El diseño final del biofiltro y el sistema de ductos y transporte de gases residuales deberá contemplar las necesidades de tratamiento de los gases residuales con escenarios a las proyecciones establecidas por el proyecto.

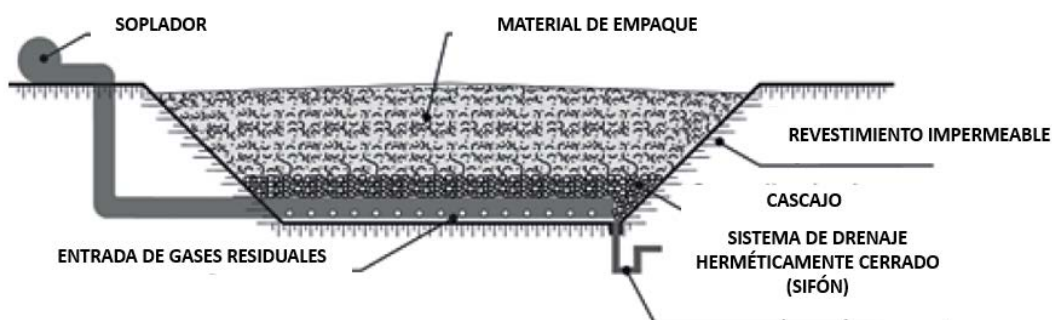


Figura 38. Diagrama de biofiltro con relleno en el fondo. (Chernicharo, y otros, 2018).

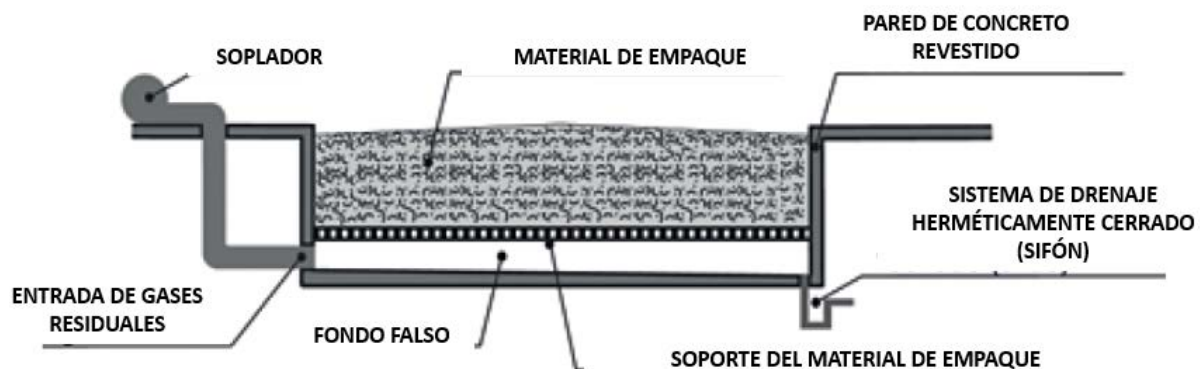


Figura 39. Diagrama de biofiltro con fondo falso (Chernicharo, y otros, 2018).

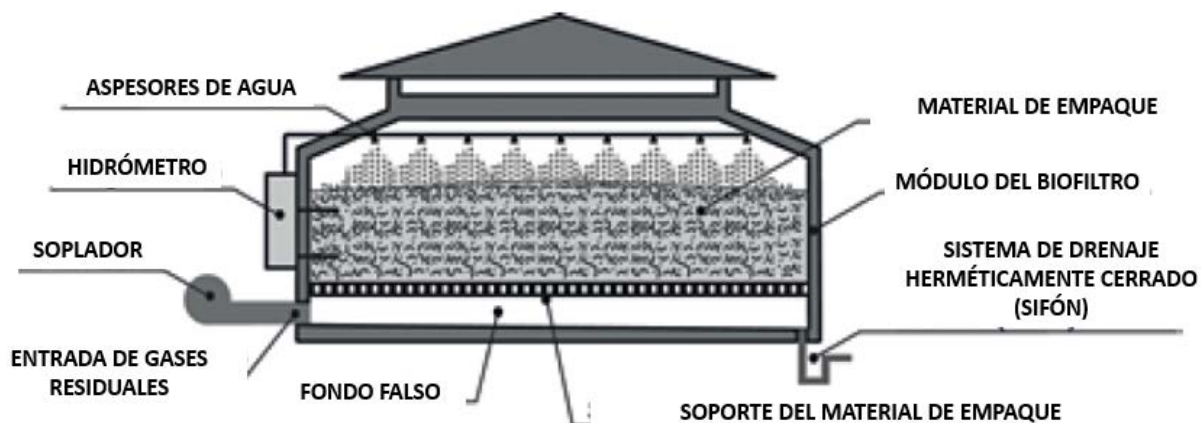


Figura 40. Diagrama de biofiltro prefabricado (Chernicharo, y otros, 2018).

#### 4.2.2.10. Reutilización de aguas residuales

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601, en su capítulo IV habla de los distintos aprovechamientos que se le puede dar a las aguas residuales, los cuales son:

- Tipo 1. Reúso urbano: Riego de zonas en donde haya acceso del público (por ejemplo, en zona verdes, campos de golf, parques, plazas deportivas y cementerios), lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua.
- Tipo 2. Riego con acceso restringido: Cultivo de césped, silvicultura y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.
- Tipo 3. Reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su

venta: Riego superficial o por aspersión, de cualquier cultivo comestible que no se procese previo a su venta, incluyendo aquellos que se consumen crudos.

- Tipo 4. Reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta: Riego de cultivos que, previo a su venta al público, han recibido el procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.
- Tipo 5. Reúso agrícola en cultivos no alimenticios: Riego de pastos de piso, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no alimenticios.
- Tipo 6. Reúso recreativo: Reúso en cuerpos de agua artificiales donde pueda existir un contacto ocasional (por ejemplo: pesca, canotaje y navegación).
- Tipo 7. Reúso paisajístico: Aprovechamientos estéticos donde el contacto con el público no es permitido, y dicha prohibición esté claramente rotulada.
- Tipo 8. Reúso en la construcción: Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales, producción de concreto.

De todos estos reúsos, se solicitó analizar específicamente el de tipo 1 para el lavado de vehículos, utilización en servicios sanitarios y para riego de zonas verdes dentro de la PTAR. Seguidamente se da una tabla resumen de los límites máximo-permisibles para este tipo de reúso.

Tabla 46. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales ordinarias.

Parámetro	Reúso tipo 1
Nemátodos intestinales	1
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1000

De acuerdo con los parámetros de salida de la PTAR, los coliformes fecales serán de aproximadamente 100 NMP/100 mL, lo cual cumple para los dos tipos de reúso que se están analizando. En cuando a los nemátodos intestinales, según Sperling (2017), los huevos de helmintos se determinan directamente en pruebas de laboratorio. Sin embargo, los huevos de nemátodos, como *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* y *Ancilostoma duodenale*, pueden usarse como indicadores de otros helmintos (cestodos, trematodos y otros nematodos). La concentración de huevos de helmintos en aguas residuales crudas podría ser de  $10^0$ -  $10^3$  organismos/100 mL y estos podrían removerse

principalmente mediante operaciones físicas que promuevan una sedimentación, como en el caso de los reactores UASB y los sedimentadores secundarios. Por otra parte, a partir de la desinfección mediante lámparas ultravioleta, estas podrían alcanzar una eficiencia del 99,99% en la inactivación de microorganismos utilizando dosis de 40 mJ/cm<sup>2</sup>, incluyendo los nemátodos, lo que se recomienda, una vez se establezca el diseño final y la puesta en marcha, se realicen los análisis del agua residual de salida para determinar el cumplimiento de este parámetro, y ajustar de ser necesario.

Ahora, el punto de salida del agua para reutilización está a un punto más bajo que la PTAR por lo que habría que instalar un sistema de bombeo y un tanque de almacenamiento de agua para que pueda ser utilizada con los fines propuestos, lo cual llegaría a ser más costoso económicamente, que utilizar el agua potable entregada por la ASADA. Es por esta razón, que se sugiere realizar un análisis de factibilidad de este proyecto de reutilización de agua residual para ver si puede ser sostenible en el tiempo, y analizar opciones como la cosecha de agua de lluvia.

Para saber cuánto caudal del agua residual se puede reutilizar, hay que realizar el diseño del sistema de riego, lo cual se recomienda que se realice dentro de la etapa del diseño final. En cuanto a la demanda de agua para reúso, para los usos de agua en el lavado de camiones, uso en servicios sanitarios, se tiene lo siguiente:

Tabla 47. Cálculo de la demanda de agua para reúso para lavado y servicios sanitarios.

Tipo de reúso	Cantidad	Periodicidad de uso	Consumo de agua	Cantidad de reúso requerida
Lavado de camiones	2 unidades	2 veces/semana	500 L/lavada <sup>5</sup>	286 L/día
Servicios sanitarios	2 unidades	4 veces/día	5 L/descarga <sup>6</sup>	40 L/día
TOTAL				326 L/día

Para los usos de lavado de camiones y uso de servicios sanitarios, el caudal de demanda corresponde a un 0,003% del caudal de la PTAR.

<sup>5</sup> Valor estimado, considerando que para un automóvil se consume aproximadamente 50 L utilizando un sistema de lavado por presión, por lo que para un camión podría consumir 10 veces ese valor.

<sup>6</sup> Valor promedio de las descargas de los servicios sanitarios de ahorro de agua, con descargas de 4 L y 6 L.

Es importante indicar que para el riego en jardines se deben de considerar varios factores para poder dar un dato de demanda. Por ejemplo, la cantidad de agua que necesitan las diferentes especies que componen un jardín está definida por la evapotranspiración cuyo valor depende del clima y de las propias plantas, también sobre las necesidades hídricas de las plantas del jardín, teniendo en cuenta tres coeficientes en función de las especies que lo forman, la densidad de plantación y las condiciones microclimáticas. Conocidas las necesidades netas de riego, teniendo en cuenta factores como la eficiencia de aplicación y la fracción de lavado, se obtiene la cantidad de agua que se debe aportar con el riego o necesidades brutas de riego (Consejería de Agricultura y Pesca, 2004).

Es por esta razón que no se da un valor de demanda de agua para reúso en jardines, ya que se requiere realizar un diseño específico, el cual depende de un diseño de paisajismo de la PTAR, para determinar el tipo de plantas, y su distribución. El área posible de riego corresponde a 69 300 m<sup>2</sup>, la cual se divide en 27 000 m<sup>2</sup> para la zona cercana a la PTAR y 42 300 m<sup>2</sup> para el área que se encuentra al sur de la propiedad, posterior a la Quebrada Danta.

### **4.2.3. Presupuesto preliminar**

#### **4.2.3.1. Presupuesto de inversión**

A partir de datos del Ministerio de Hacienda, proveedores y experiencias, se definieron los siguientes rubros para cada alternativa de tratamiento:

- Costos de excavación y movimientos de tierra
- Sustitución de suelos requerida
- Estructuras de concreto armado
- Trabajos en metal, acero, acero inoxidable, tuberías, equipos específicos, otros.
- Equipos electromecánicos (Bombas centrífugas, mezcladores, aireadores mecánicos, sopladores, motores, otros)
- Obras complementarias (Edificaciones, aceras, calles y parqueos, malla perimetral, equipos de laboratorio, plantas generadoras, desfogue de la PTAR, otros).

En el anexo 18.9, se encuentra una tabla con los precios unitarios utilizados de algunos de los rubros más importantes.

#### 4.2.3.2. Presupuesto Operación y Mantenimiento

Respecto al desglose de los costos de Operación y Mantenimiento evaluados en las alternativas de plantas de tratamiento de aguas residuales:

- Servicios personales
  - Personal calificado
  - Personal no calificado
- Servicios no personales
  - Servicios básicos (teléfono, internet, agua)
  - Electricidad
  - Mantenimiento, reparación y limpieza
  - Servicios técnicos
  - Servicios comerciales
- Materiales y suministros
  - Productos químicos
  - Combustibles
  - Materiales de limpieza
  - Otros materiales y suministros

El presupuesto también se adjunta en el anexo 8, de manera digital.

Tabla 48. Presupuesto preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales.

RUBRO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				CONSTRUCCIÓN (MANO DE OBRA)		SUMA DE COSTOS		COSTO TOTAL		
				COSTO LOCAL (€)		COSTO EXTRANJERO IMPORTACIÓN		COSTO LOCAL (€)		LOCAL	EXTRANJERO	TOTAL	TOTAL	
				UNITARIO	TOTAL	UNITARIO (€)	TOTAL (€)	UNITARIO	TOTAL	€	\$	€	\$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (4) X (5)	(7)	(8) = (4) X (7)	(9)	(10) = (4) X (9)	(13) = (6) + (10)	(14) = (13)	(15) = (13) + (14)	(15) = (13) + (14)	
<b>1.3</b>	<b>Planta de Tratamiento</b>				<b>3 244 183 872</b>		<b>1 512 883 102</b>		<b>2 153 579 975</b>	<b>5 397 763 847</b>	<b>1 512 883 102</b>		<b>6 910 646 949</b>	<b>10 314 398,43</b>
<b>1.3.1</b>	<b>PRETRATAMIENTO</b>				70 678 039,08		569 659 245,60		297 350 974,80	368 029 013,88	569 659 245,60		<b>937 688 259</b>	<b>1 399 534,72</b>
<b>1.3.1.1</b>	Excavación y movimientos de tierra	m³	1 218,56	7 128,00	8 685 895,68		0,00	990,00	1 206 374,40	9 892 270,08	0,00			
<b>1.3.1.2</b>	Sustitución de suelos	m³	660,30	19 998,00	13 204 679,40		0,00	3 960,00	2 614 788,00	15 819 467,40	0,00			
<b>1.3.1.3</b>	Losa de fundación	m³	45,10	178 200,00	8 036 820,00		0,00	118 800,00	5 357 880,00	13 394 700,00	0,00			
<b>1.3.1.4</b>	Muros de concreto	m³	10,05	388 080,00	3 900 204,00		0,00	258 720,00	2 600 136,00	6 500 340,00	0,00			
<b>1.3.1.5</b>	Trabajos en metal, acero inox, tuberías y otros	glob	1,00	2 640 000,00	2 640 000,00		0,00	1 848 000,00	1 848 000,00	4 488 000,00	0,00			
<b>1.3.1.6</b>	Estructura metálica de cubierta	m²	404,00	36 960,00	14 931 840,00		0,00	7 920,00	3 199 680,00	18 131 520,00	0,00			
<b>1.3.1.7</b>	Equipos tratamiento mecanizado	un	2,00	0,00	0,00	266 675 972,80	533 351 945,60	131 347 867,20	262 695 734,40	262 695 734,40	533 351 945,60			
<b>1.3.1.8</b>	Obras complementarias	m²	404,00	34 650,00	13 998 600,00		0,00	14 850,00	5 999 400,00	19 998 000,00	0,00			
<b>1.3.1.9</b>	Equipos de medición (Automatización y control)	glob	1,00	0,00	0,00	36 307 300,00	36 307 300,00	10 178 982,00	10 178 982,00	10 178 982,00	36 307 300,00			
<b>1.3.1.10</b>	Sistemas electromecánicos	glob	1,00	5 280 000,00	5 280 000,00		0,00	1 650 000,00	1 650 000,00	6 930 000,00	0,00			
<b>1.3.2</b>	<b>PRETRATAMIENTO (TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN)</b>				283 830 888,00		93 905 056,00		203 454 642,00	487 285 530,00	93 905 056,00		<b>581 190 586</b>	<b>867 448,64</b>
<b>1.3.2.1</b>	Excavación y movimientos de tierra	m³	6 095,00	7 128,00	43 445 160,00		0,00	990,00	6 034 050,00	49 479 210,00	0,00			
<b>1.3.2.2</b>	Sustitución de suelos	m³	1 980,00	19 998,00	39 596 040,00		0,00	3 960,00	7 840 800,00	47 436 840,00	0,00			
<b>1.3.2.3</b>	Losa de fundación	m³	150,10	178 200,00	26 747 820,00		0,00	118 800,00	17 831 880,00	44 579 700,00	0,00			
<b>1.3.2.4</b>	Losa de techo	m³	150,10	67 320,00	10 104 732,00		0,00	44 880,00	6 736 488,00	16 841 220,00	0,00			
<b>1.3.2.5</b>	Muros de concreto	m³	333,20	388 080,00	129 308 256,00		0,00	258 720,00	86 205 504,00	215 513 760,00	0,00			
<b>1.3.2.6</b>	Columnas de concreto	m³	12,25	348 480,00	4 268 880,00		0,00	232 320,00	2 845 920,00	7 114 800,00	0,00			
<b>1.3.2.7</b>	Trabajos en metal, acero inox, tuberías y otros	glob	1,00	25 080 000,00	25 080 000,00		0,00	17 556 000,00	17 556 000,00	42 636 000,00	0,00			
<b>1.3.2.8</b>	Equipos de bombeo	un	3,00	0,00	0,00	10 690 252,00	32 070 756,00	13 398 000,00	40 194 000,00	40 194 000,00	32 070 756,00			
<b>1.3.2.9</b>	Equipos de mezclado	un	2,00	0,00	0,00	12 492 150,00	24 984 300,00	3 000 000,00	6 000 000,00	6 000 000,00	24 984 300,00			

RUBRO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				CONSTRUCCIÓN (MANO DE OBRA)		SUMA DE COSTOS		COSTO TOTAL	
				COSTO LOCAL (€)		COSTO EXTRANJERO IMPORTACIÓN		COSTO LOCAL (€)		LOCAL	EXTRANJERO	TOTAL	TOTAL
				UNITARIO	TOTAL	UNITARIO (€)	TOTAL (€)	UNITARIO	TOTAL	€	\$	€	\$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (4) X (5)	(7)	(8) = (4) X (7)	(9)	(10) = (4) X (9)	(13) = (6) + (10)	(14) = (13)	(15) = (13) + (14)	(15) = (13) + (14)
1.3.2.10	Sistemas electromecánicos	un	1,00	5 280 000,00	5 280 000,00		0,00	1 650 000,00	1 650 000,00	6 930 000,00	0,00		
1.3.2.11	Equipos de medición (Automatización y control)	glob	1,00	0,00	0,00	36 850 000,00	36 850 000,00	10 560 000,00	10 560 000,00	10 560 000,00	36 850 000,00		
<b>1.3.3</b>	<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO (REACTORES UASB)</b>				540 955 790,10		37 654 000,00		303 011 747,30	843 967 537,40	37 654 000,00	<b>881 621 537</b>	<b>1 315 853,04</b>
1.3.3.1	Excavación y movimientos de tierra	m³	2 517,65	7 128,00	17 945 809,20		0,00	990,00	2 492 473,50	20 438 282,70	0,00		
1.3.3.2	Sustitución de suelos	m³	175,65	19 998,00	3 512 648,70		0,00	3 960,00	695 574,00	4 208 222,70	0,00		
1.3.3.3	Losa de fundación	m³	255,55	178 200,00	45 539 010,00		0,00	118 800,00	30 359 340,00	75 898 350,00	0,00		
1.3.3.4	Muros de concreto	m³	529,32	388 080,00	205 418 505,60		0,00	258 720,00	136 945 670,40	342 364 176,00	0,00		
1.3.3.5	Vigas de concreto	m³	44,11	485 100,00	21 397 761,00		0,00	207 900,00	9 170 469,00	30 568 230,00	0,00		
1.3.3.6	Columnas de concreto	m³	10,97	348 480,00	3 822 825,60		0,00	232 320,00	2 548 550,40	6 371 376,00	0,00		
1.3.3.7	Trabajos en metal, acero inox, tuberías y otros	glob	1,00	135 300 000,00	135 300 000,00		0,00	54 120 000,00	54 120 000,00	189 420 000,00	0,00		
1.3.3.8	Obras complementarias	m²	1 022,20	34 650,00	35 419 230,00		0,00	14 850,00	15 179 670,00	50 598 900,00	0,00		
1.3.3.9	Equipos de bombeo	un	2,00	0,00	0,00	402 000,00	804 000,00	280 000,00	560 000,00	560 000,00	804 000,00		
1.3.3.10	Equipos de medición	glob	1,00	0,00	0,00	36 850 000,00	36 850 000,00	5 560 000,00	5 560 000,00	5 560 000,00	36 850 000,00		
1.3.3.11	Sistemas electromecánicos	un	1,00	13 200 000,00	13 200 000,00		0,00	3 800 000,00	3 800 000,00	17 000 000,00	0,00		
1.3.3.12	Pasarelas	glob	1,00	59 400 000,00	59 400 000,00		0,00	41 580 000,00	41 580 000,00	100 980 000,00	0,00		
<b>1.3.4</b>	<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO (FILTRO AEROBIO)</b>				677 743 666,38		335 670 000,00		468 337 983,40	1 146 081 649,78	335 670 000,00	<b>1 481 751 650</b>	<b>2 211 569,63</b>
1.3.4.1	Excavación y movimientos de tierra	m³	5 329,66	7 128,00	37 989 816,48		0,00	990,00	5 276 363,40	43 266 179,88	0,00		
1.3.4.2	Sustitución de suelos	m³	2 724,05	19 998,00	54 475 551,90		0,00	3 960,00	10 787 238,00	65 262 789,90	0,00		
1.3.4.3	Losa de fundación	m³	646,92	178 200,00	115 281 144,00		0,00	118 800,00	76 854 096,00	192 135 240,00	0,00		
1.3.4.4	Entrepiso filtrante	m³	646,92	75 240,00	48 674 260,80		0,00	50 160,00	32 449 507,20	81 123 768,00	0,00		
1.3.4.5	Muros de concreto	m³	327,29	388 080,00	127 014 703,20		0,00	258 720,00	84 676 468,80	211 691 172,00	0,00		
1.3.4.6	Vigas de concreto	m³	12,75	485 100,00	6 185 025,00		0,00	207 900,00	2 650 725,00	8 835 750,00	0,00		
1.3.4.7	Trabajos en metal, acero inox, tuberías y otros	glob	1,00	57 420 000,00	57 420 000,00		0,00	40 194 000,00	40 194 000,00	97 614 000,00	0,00		

RUBRO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				CONSTRUCCIÓN (MANO DE OBRA)		SUMA DE COSTOS		COSTO TOTAL	
				COSTO LOCAL (€)		COSTO EXTRANJERO IMPORTACIÓN		COSTO LOCAL (€)		LOCAL	EXTRANJERO	TOTAL	TOTAL
				UNITARIO	TOTAL	UNITARIO (€)	TOTAL (€)	UNITARIO	TOTAL	€	\$	€	\$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (4) X (5)	(7)	(8) = (4) X (7)	(9)	(10) = (4) X (9)	(13) = (6) + (10)	(14) = (13)	(15) = (13) + (14)	(15) = (13) + (14)
<b>1.3.4.8</b>	Material de relleno del filtro	m³	5 844,00	22 440,00	131 139 360,00		0,00	3 960,00	23 142 240,00	154 281 600,00	0,00		
<b>1.3.4.9</b>	Equipos electromecánico (Distribuidor rotatorios)	un	4,00	0,00	0,00	73 030 000,00	292 120 000,00	35 970 000,00	143 880 000,00	143 880 000,00	292 120 000,00		
<b>1.3.4.10</b>	Equipos de medición	glob	1,00	0,00	0,00	43 550 000,00	43 550 000,00	6 000 000,00	6 000 000,00	6 000 000,00	43 550 000,00		
<b>1.3.4.11</b>	Sistemas electromecánicos	un	1,00	9 900 000,00	9 900 000,00		0,00	4 000 000,00	4 000 000,00	13 900 000,00	0,00		
<b>1.3.4.12</b>	Obras complementarias	m²	2 587,70	34 650,00	89 663 805,00		0,00	14 850,00	38 427 345,00	128 091 150,00	0,00		
<b>1.3.5</b>	TRATAMIENTO SECUNDARIO (SEDIMENTADOR SECUNDARIO)				<b>385 496 503</b>		<b>51 724 000</b>		<b>212 653 343</b>	<b>598 149 845</b>	<b>51 724 000</b>	<b>649 873 845</b>	<b>969 960,96</b>
<b>1.3.5.1</b>	Excavación y movimientos de tierra	m³	5 085,60	7 128,00	36 250 156,80		0,00	990,00	5 034 744,00	41 284 900,80	0,00		
<b>1.3.5.2</b>	Sustitución de suelos	m³	2 754,70	19 998,00	55 088 490,60		0,00	3 960,00	10 908 612,00	65 997 102,60	0,00		
<b>1.3.5.3</b>	Losa de fundación	m³	131,93	178 200,00	23 509 926,00		0,00	118 800,00	15 673 284,00	39 183 210,00	0,00		
<b>1.3.5.4</b>	Muros de concreto	m³	279,00	388 080,00	108 274 320,00		0,00	258 720,00	72 182 880,00	180 457 200,00	0,00		
<b>1.3.5.5</b>	Tolvas	m³	77,99	388 080,00	30 266 359,20		0,00	258 720,00	20 177 572,80	50 443 932,00	0,00		
<b>1.3.5.6</b>	Trabajos en metal, acero inox, tuberías y otros	glob	1,00	37 620 000,00	37 620 000,00		0,00	25 080 000,00	25 080 000,00	62 700 000,00	0,00		
<b>1.3.5.7</b>	Equipos electromecánicos y otros materiales (12 equipos de bombeo)	un	12,00	0,00	0,00	402 000,00	4 824 000,00	165 000,00	1 980 000,00	1 980 000,00	4 824 000,00		
<b>1.3.5.8</b>	Equipos de medición	glob	1,00	0,00	0,00	46 900 000,00	46 900 000,00	5 800 000,00	5 800 000,00	5 800 000,00	46 900 000,00		
<b>1.3.5.9</b>	Sistemas electromecánicos	un	1,00	9 900 000,00	9 900 000,00		0,00	3 800 000,00	3 800 000,00	13 700 000,00	0,00		
<b>1.3.5.10</b>	Obras complementarias	m²	765,00	34 650,00	26 507 250,00		0,00	14 850,00	11 360 250,00	37 867 500,00	0,00		
<b>1.3.5.11</b>	Pasarelas	glob	1,00	58 080 000,00	58 080 000,00		0,00	40 656 000,00	40 656 000,00	98 736 000,00	0,00		
<b>1.3.6</b>	TRATAMIENTO SECUNDARIO (LECHOS DE SECADO)				<b>423 977 318</b>		<b>804 000</b>		<b>210 059 893</b>	<b>634 037 211</b>	<b>804 000</b>	<b>634 841 211</b>	<b>947 524,20</b>
<b>1.3.6.1</b>	Excavación y movimientos de tierra	m³	4 328,44	7 128,00	30 853 120,32		0,00	990,00	4 285 155,60	35 138 275,92	0,00		
<b>1.3.6.2</b>	Sustitución de suelos	m³	1 797,08	19 998,00	35 938 005,84		0,00	3 960,00	7 116 436,80	43 054 442,64	0,00		
<b>1.3.6.3</b>	Losa de fundación	m³	397,69	178 200,00	70 868 358,00		0,00	118 800,00	47 245 572,00	118 113 930,00	0,00		
<b>1.3.6.4</b>	Muros de concreto	m³	293,55	388 080,00	113 920 884,00		0,00	258 720,00	75 947 256,00	189 868 140,00	0,00		

RUBRO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				CONSTRUCCIÓN (MANO DE OBRA)		SUMA DE COSTOS		COSTO TOTAL		
				COSTO LOCAL (€)		COSTO EXTRANJERO IMPORTACIÓN		COSTO LOCAL (€)		LOCAL	EXTRANJERO	TOTAL	TOTAL	
				UNITARIO	TOTAL	UNITARIO (€)	TOTAL (€)	UNITARIO	TOTAL	€	\$	€	\$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (4) X (5)	(7)	(8) = (4) X (7)	(9)	(10) = (4) X (9)	(13) = (6) + (10)	(14) = (13)	(15) = (13) + (14)	(15) = (13) + (14)	
1.3.6.5	Alero (Láminas policarbonato)	m²	2 651,25	17 160,00	45 495 450,00		0,00	11 418,00	30 271 972,50	75 767 422,50	0,00			
1.3.6.6	Equipos electromecánicos y otros materiales	un	2,00	0,00	0,00	402 000,00	804 000,00	165 000,00	330 000,00	330 000,00	804 000,00			
1.3.6.7	Sistemas electromecánicos	glob	1,00	14 520 000,00	14 520 000,00		0,00	3 630 000,00	3 630 000,00	18 150 000,00	0,00			
1.3.6.8	Obras complementarias	m²	2 450,00	34 650,00	84 892 500,00		0,00	14 850,00	36 382 500,00	121 275 000,00	0,00			
1.3.6.9	Material filtrante	m³	1 225,00	22 440,00	27 489 000,00		0,00	3 960,00	4 851 000,00	32 340 000,00	0,00			
<b>1.3.7</b>	<b>TRATAMIENTO TERCEARIO (DESINFECCIÓN)</b>				<b>42 874 348</b>		<b>222 131 800</b>		<b>107 705 193</b>	<b>150 579 542</b>	<b>222 131 800</b>	<b>372 711 342</b>	<b>556 285,58</b>	
1.3.7.1	Excavación y movimientos de tierra	m³	505,48	7 128,00	3 603 061,44		0,00	39 996,00	20 217 178,08	23 820 239,52	0,00			
1.3.7.2	Sustitución de suelos	m³	273,80	19 998,00	5 475 452,40		0,00	3 960,00	1 084 248,00	6 559 700,40	0,00			
1.3.7.3	Losa de fundación	m³	22,30	178 200,00	3 973 860,00		0,00	118 800,00	2 649 240,00	6 623 100,00	0,00			
1.3.7.4	Muros de concreto	m³	5,91	388 080,00	2 293 552,80		0,00	258 720,00	1 529 035,20	3 822 588,00	0,00			
1.3.7.5	Estructura metálica de cubierta	m²	73,93	40 260,00	2 976 421,80		0,00	26 400,00	1 951 752,00	4 928 173,80	0,00			
1.3.7.6	Equipos de desinfección y otros materiales	un	1,00	0,00	0,00	195 331 800,00	195 331 800,00	67 345 740,00	67 345 740,00	67 345 740,00	195 331 800,00			
1.3.7.7	Equipos de medición	glob	1,00	0,00	0,00	26 800 000,00	26 800 000,00	2 500 000,00	2 500 000,00	2 500 000,00	26 800 000,00			
1.3.7.8	Obras complementarias	m²	480,00	34 650,00	16 632 000,00		0,00	14 850,00	7 128 000,00	23 760 000,00	0,00			
1.3.7.9	Sistemas electromecánicos	glob	1,00	7 920 000,00	7 920 000,00		0,00	3 300 000,00	3 300 000,00	11 220 000,00	0,00			
<b>1.3.8</b>	<b>TRATAMIENTO BIOGÁS</b>				<b>0,00</b>		<b>128 640 000,00</b>		<b>95 040 000,00</b>	<b>95 040 000,00</b>	<b>128 640 000,00</b>	<b>223 680 000</b>	<b>333 850,75</b>	
1.3.8.1	Equipos para aprovechamiento del biogas y otros materiales (quemador)	un	1,00	0,00	0,00	128 640 000,00	128 640 000,00	95 040 000,00	95 040 000,00	95 040 000,00	128 640 000,00	<b>223 680 000</b>	<b>333 850,75</b>	
<b>1.3.9</b>	<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS GENERALES</b>				<b>794 754 583</b>		<b>72 695 000</b>		<b>240 413 958</b>	<b>1 035 168 540</b>	<b>72 695 000</b>	<b>1 107 863 540</b>	<b>1 653 527,67</b>	
1.3.9.1	Preparación del terreno	m²	17 000,00	330,00	5 610 000,00		0,00	198,00	3 366 000,00	8 976 000,00	0,00			
1.3.9.2	Caseta de guarda	m²	23,00	277 200,00	6 375 600,00		0,00	184 800,00	4 250 400,00	10 626 000,00	0,00			
1.3.9.3	Casetas de equipos	m²	21,78	229 680,00	5 002 430,40		0,00	153 120,00	3 334 953,60	8 337 384,00	0,00			
1.3.9.4	Caseta operación	m²	90,20	229 680,00	20 717 136,00		0,00	153 120,00	13 811 424,00	34 528 560,00	0,00			
1.3.9.5	Iluminación	glob	1,00	26 400 000,00	26 400 000,00		0,00	2 640 000,00	2 640 000,00	29 040 000,00	0,00			

RUBRO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				CONSTRUCCIÓN (MANO DE OBRA)		SUMA DE COSTOS		COSTO TOTAL	
				COSTO LOCAL (€)		COSTO EXTRANJERO IMPORTACIÓN		COSTO LOCAL (€)		LOCAL	EXTRANJERO	TOTAL	TOTAL
				UNITARIO	TOTAL	UNITARIO (€)	TOTAL (€)	UNITARIO	TOTAL	€	\$	€	\$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (4) X (5)	(7)	(8) = (4) X (7)	(9)	(10) = (4) X (9)	(13) = (6) + (10)	(14) = (13)	(15) = (13) + (14)	(15) = (13) + (14)
1.3.9.6	Seguridad perimetral CCTV	glob	1,00	34 320 000,00	34 320 000,00		0,00	7 920 000,00	7 920 000,00	42 240 000,00	0,00		
1.3.9.7	Aceras	m²	2 070,70	19 008,00	39 359 865,60		0,00	12 672,00	26 239 910,40	65 599 776,00	0,00		
1.3.9.8	Calles de acceso y parqueo	m²	1 431,47	133 980,00	191 788 350,60		0,00	31 680,00	45 348 969,60	237 137 320,20	0,00		
1.3.9.9	Malla perimetral (Con seguridad púas)	m	1 097,00	39 600,00	43 441 200,00		0,00	9 900,00	10 860 300,00	54 301 500,00	0,00		
1.3.9.10	Equipos de laboratorio	glob	1,00	56 100 000,00	56 100 000,00		0,00	11 880 000,00	11 880 000,00	67 980 000,00	0,00		
1.3.9.11	Acometida eléctrica principal *(Falta incluir los transformadores)	glob	1,00	69 300 000,00	69 300 000,00		0,00	23 100 000,00	23 100 000,00	92 400 000,00	0,00		
1.3.9.12	Acometida de agua potable	glob	1,00	13 200 000,00	13 200 000,00		0,00	3 960 000,00	3 960 000,00	17 160 000,00	0,00		
1.3.9.13	Acometida de fibra/internet	glob	1,00	7 920 000,00	7 920 000,00		0,00	1 980 000,00	1 980 000,00	9 900 000,00	0,00		
1.3.9.14	Telemetría	glob	1,00	44 220 000,00	44 220 000,00		0,00	7 392 000,00	7 392 000,00	51 612 000,00	0,00		
1.3.9.15	Instalaciones eléctricas	glob	1,00	188 100 000,00	188 100 000,00		0,00	50 820 000,00	50 820 000,00	238 920 000,00	0,00		
1.3.9.16	Sistemas mecánicos	glob	1,00	39 600 000,00	39 600 000,00		0,00	13 200 000,00	13 200 000,00	52 800 000,00	0,00		
1.3.9.17	Plantas generadoras c/transferencia autom. (300Kw)	un	1,00	0,00	0,00	45 225 000,00	45 225 000,00	7 260 000,00	7 260 000,00	7 260 000,00	45 225 000,00		
1.3.9.18	Transformador principal 300kva	un	1,00	0,00	0,00	16 750 000,00	16 750 000,00	900 000,00	900 000,00	900 000,00	16 750 000,00		
1.3.9.19	Trafo seco 30kva	un	2,00	0,00	0,00	5 360 000,00	10 720 000,00	250 000,00	500 000,00	500 000,00	10 720 000,00		
1.3.9.20	Obra civil planta generadora	glob	1,00	3 300 000,00	3 300 000,00		0,00	1 650 000,00	1 650 000,00	4 950 000,00	0,00		
<b>1.4</b>	<b>Emisario descarga efluente tratado</b>				23 872 736,50		0,00	15 552 241,00	39 424 977,50	0,00		<b>39 424 978</b>	<b>58 843,25</b>
1.4.1	Tuberías	ml	160,00	129 846,00	20 775 360,00		0,00	86 564,00	13 850 240,00	34 625 600,00	0,00		
1.4.2	Pozos de registro	Unidad	1,00	1 623 376,50	1 623 376,50		0,00	1 082 251,00	1 082 251,00	2 705 627,50	0,00		
1.4.3	Cabezal de desfogue	Unidad	1,00	1 474 000,00	1 474 000,00		0,00	619 750,00	619 750,00	2 093 750,00	0,00		
<b>1.5</b>	<b>Terrenos</b>				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1.5.1	Servidumbres				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1.5.2	Terreno de la PTAR				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>TOTAL GENERAL</b>					<b>3 268 056 608,36</b>		<b>1 512 883 101,60</b>		<b>2 153 579 975,08</b>	<b>5 437 188 824,44</b>	<b>1 512 883 101,60</b>		

#### **4.2.4. Priorización de obras**

En el caso de la PTAR, no se recomienda una construcción por etapas, ya que es común que suceda en otros proyectos, que etapas que se dejaron para una construcción posterior carezcan de financiamiento y más bien deja al proyecto en una situación compleja de capacidad para el tratamiento de las aguas residuales. Se recomienda que toda la sinergia y apoyo que el proyecto cuenta, incluya dentro de su financiamiento la construcción de todas las obras durante el periodo de ejecución.

Ahora, esta construcción se refiere a la obra gris de las estructuras, sin embargo, no todas entraran en funcionamiento al inicio del proyecto. Por lo que se recomienda, para etapas posteriores del proyecto realizar un plan de implementación que considere las recomendaciones de la priorización de obras.

#### **4.2.5. Cronograma preliminar de obras**

A partir de un análisis de las estructuras determinadas en el anteproyecto, se establece el siguiente cronograma preliminar para el desarrollo de las actividades del proyecto. Este cronograma se presenta en PDF y en Microsoft project en los anexos para una mejor lectura.

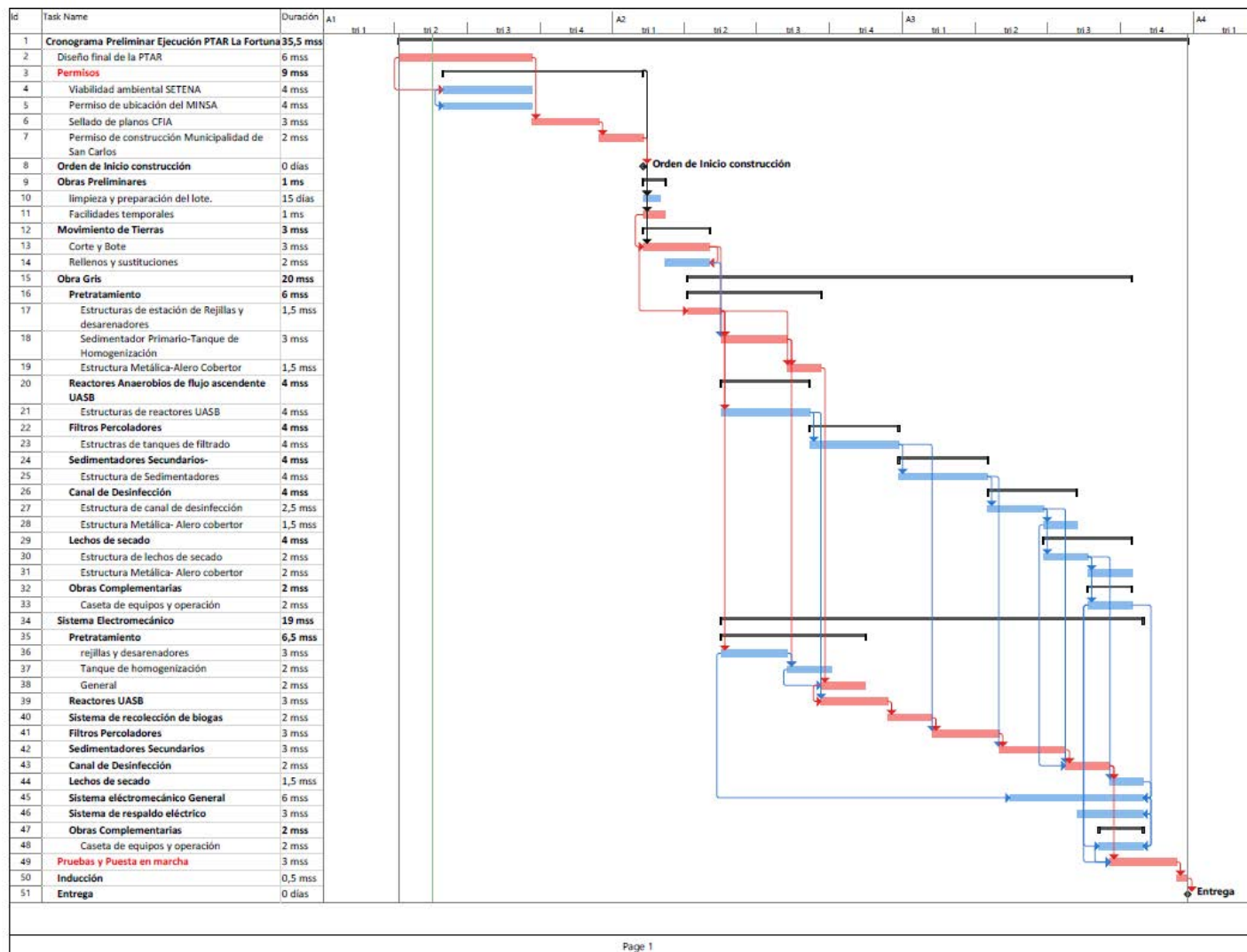




Figura 41. Cronograma preliminar de la ejecución de obras pendientes de la PTAR.

## 5. Factibilidad financiera

### 5.1. Esquema metodológico

#### 5.1.1. Aspectos generales del análisis

Se efectúa el análisis económico, financiero y social del Proyecto, siguiendo la metodología establecida por MIDEPLAN, en la "Guía Metodológica General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública-Costa Rica", y considerando también la "Guía Metodológica de Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Acueductos y Alcantarillados".

El análisis del Proyecto es tratado desde el punto de vista financiero, económico y social partiendo del análisis financiero de la alternativa que fue seleccionada en función del diseño a nivel de anteproyecto de redes, colectores y finalmente de la PTAR.

Adicionalmente se complementa el análisis con una variante en el trazado de dos de los colectores que se sacaron de las respectivas áreas de protección de los cauces, al Norte el colector de la Quebrada Danta y al Sur el colector que sigue el cauce del Río Burío.

Como antecedente general se menciona que se valoró en etapas anteriores la situación socioeconómica de la Fortuna con todos sus indicadores históricos y actuales.

Se hizo también una investigación del mercado para el proyecto definiendo su área de influencia, cobertura del nuevo alcantarillado con respecto al acueducto actual y caracterización del mercado meta. Del estudio de mercado se proyecta la población a ser servida al horizonte del proyecto. Este horizonte a un total de 30 años, incluyen los 3 años de ejecución. Es decir, se consideran 3 años de ejecución y 27 años de operación.

Se estudia la situación de la ASADA La Fortuna desde el punto de vista del comportamiento histórico de los consumos y del crecimiento de número de abonados en agua potable. Se establece una correlación de este sistema de agua potable con lo esperado en las conexiones proyectadas de los futuros abonados al alcantarillado y las descargas de aguas residuales en el caso del nuevo sistema

Se efectúa una encuesta y se analizan los resultados en términos del mercado meta, su percepción del proyecto y su disposición a pagar por el nuevo servicio con consideraciones sobre la tarifa.

Del análisis de los consumos y los resultados de la encuesta se establece una estructura tarifaria propuesta como promedio de todas las categorías de abonados. Esto permite proyectar los ingresos esperados para el nuevo proyecto.

Todo lo anterior se completa a satisfacción en las etapas I y II de este estudio y sus resultados figuran en otros apartes del documento final y entregas ya efectuadas.

Se efectúa por parte del equipo de ingeniería un diagnóstico sobre la situación ambiental en el campo del saneamiento y las soluciones técnicas apropiadas para mitigar los niveles actuales de contaminación por aguas residuales en la Fortuna.

Del análisis técnico se identifica la mejor opción, con viabilidad técnica y ambiental, en las redes de recolección y los sistemas de tratamiento para la PTAR. A su vez y con un dimensionamiento preliminar se definen los montos de inversión y los costos de O&M para cada una y son proyectados.

Se construye un cronograma de ejecución de obra lo cual permite mapear las inversiones en el tiempo, determinando el flujo de recursos para el proyecto y a su vez posibilita el cálculo del escalamiento, es decir el comportamiento inflacionario durante el período de ejecución. Se establece un año para completar los diseños, presupuestos definitivos, permisos y consecución del financiamiento y luego dos años más para construir. En total se contemplan 3 años de preinversión.

Se establecen los principales parámetros económicos, tasas, inflación, tipo de cambio proyectados, entre otros. Se definen a su vez las condiciones financieras de un eventual financiamiento.

Se calculan las necesidades de financiamiento para la alternativa seleccionada y se construye un cuadro de préstamos al horizonte del proyecto.

Se construye el Flujo de Caja financiero con sus indicadores de rentabilidad en función del Valor Presente Neto VPN, índice beneficio costo B/C y Tasa Interna de Retorno TIR.

Adicionalmente se determinan posibles opciones de estructuración del proyecto a fin de darle viabilidad bajo una condición de financiamiento y aporte de capital accionario, mediante la creación de una asociación público-privada, APP, que genere los recursos para hacerle frente a las inversiones. También en una condición de financiamiento en que la ASADA pueda hacer frente al servicio del nuevo adeudo y genere un flujo de caja operativo positivo.

### 5.1.2. Flujo financiero y económico para la opción seleccionada

Para la opción seleccionada en la etapa anterior, se efectúa el análisis financiero y económico, se construye el flujo de caja completo considerando los montos de ingresos vía tarifa, montos de inversión y los costos proyectados de O&M. También se consideran los costos de un financiamiento para hacerle frente al proyecto.

Adicionalmente, y según se mencionó, se complementa el análisis con una variante en el trazado de dos de los colectores que se sacaron de las respectivas áreas de protección de los cauces. Al norte el colector de la Quebrada Danta y al Sur el colector que sigue el cauce del Río Burío.

Para la opción seleccionada y esta vez con mayor precisión en los costos, producto de un diseño de ingeniería a nivel de factibilidad, contando con cotizaciones e insumos de fabricantes de equipos y otros suplidores, se revisa y ajustan los presupuestos de inversión y los costos de O&M. Esto permite recalcular en mayor detalle y precisión el flujo de caja financiero.

Del mismo, con los precios financieros o de mercado y con los precios sombra y factores de conversión, se obtienen los precios sin distorsión y con ellos se construye el flujo económico. Se determina en cada caso, los valores de rentabilidad, financieros y económicos, actualizando los flujos al presente.

A su vez se efectúa un nuevo análisis de sensibilización enfocado, no tanto en generar una rentabilidad financiera que permita darle viabilidad al proyecto dado que, como se vio en la etapa anterior, esto no era posible, sino más bien, bajo qué escenario, vía capitalización y estructuración del proyecto, podría hacerse viable y efectivamente poder ejecutarse, dados los grandes beneficios sociales y ambientales.

Todo parte, en suma, de que el fondeo de capital al proyecto bajo la modalidad que sea implique un monto de deuda moderado que permita a la ASADA, vía tarifa, el asumir esta nueva obligación.

Para pasar de los precios financieros o de mercado y por consiguiente del flujo de caja financiero al económico, se toman en cuenta los factores siguientes tomados tanto de la información suministrada por MIDEPLAN como de la guía metodológica del AyA para este tipo de proyectos e información de otros proyectos anteriores del BCIE en Costa Rica:

- Precio sombra del capital o tasa social de descuento.
- El precio sombra de la divisa y el factor estándar de conversión cuando se requiera para pasar de moneda local a US\$.
- El precio sombra de los bienes transables y no transables.
- El precio sombra de la mano de obra.
- El precio sombra desglosada en tres categorías: calificada alta, calificada media y no calificada.

Se pone especial énfasis en el manejo de la tasa social de descuento, costos económicos, sociales y los beneficios del proyecto. También se analiza la sostenibilidad financiera del Proyecto, tomando en cuenta las tarifas vigentes para alcantarillado sanitario y determinar la tarifa requerida para garantizar que el proyecto sea económicamente viable, tomando en consideración los costos e ingresos del proyecto desde su construcción hasta su horizonte de operación en el año 2050.

El análisis se efectúa en colones costarricenses considerando el efecto inflacionario aplicado a todos los rubros de ingresos y costos. Se aplica este efecto inflacionario, tanto en los conceptos de inversión, mediante el escalamiento de precios, durante la etapa constructiva, como propiamente dentro del flujo de operaciones, reflejado en la tarifa y en los costos de operación y mantenimiento estimados durante todo el horizonte del Proyecto.

## **5.2. Parámetros y Resultados Análisis Financiero**

El primer paso en la preparación del flujo de caja es la formulación del plan global de inversiones del proyecto, basándose en la información preparada por los módulos de mercado, ingeniería y administración y operación del nuevo sistema de alcantarillado sanitario. Antes se definen los principales parámetros financieros, económicos y sociales a ser utilizados en el presente análisis.

### **5.2.1. Parámetros para el análisis**

En el cuadro a continuación se presentan los principales parámetros a ser utilizados en el presente análisis. Algunos proceden del Banco Central, otros de MIDEPLAN y de investigación específica o de otros proyectos similares. Con referencia al tipo de cambio con respecto al US\$ se toma 670 colones costarricense por dólar, vigente al momento

de elaborar esta etapa del estudio en marzo de 2022. No obstante, nos encontramos en un entorno fluctuante de devaluación por lo que este valor puede seguir subiendo o eventualmente estabilizarse gracias a la intervención efectiva del Banco Central y una vez disminuya la demanda de fin y principios de año 2021- 2022.

Tabla 49. Parámetros económicos para el proyecto de saneamiento en La Fortuna.

Parámetros Económicos		Referencia
Tipo de cambio	670 <sup>7</sup>	Banco Central
Tasa financiera nominal US\$: descuento de flujos	12,17% <sup>8</sup>	cálculo propio, ver nota al pie de página
Tasa financiera real US\$: para descuento de flujo deflactado (sin inflación)	9,50% <sup>9</sup>	cálculo propio, ver nota al pie de página
Tasa financiera nominal ç: descuento de flujos	14,7%	cálculo propio, ver nota al pie de página
Tasa financiera real ç: para descuento de flujo deflactado (sin inflación)	11,35%	cálculo propio, ver nota al pie de página
Tasa Social Descuento TSD:	8,31%	MIDEPLAN, 2019
Inflación		Referencia
Tasa inflación interna CR - construcción-	3,00%	INEC, BCCR
Tasa inflación IPC USA	2,44%	IPC en USA- datos macro.com

Para la tasa de descuento de los flujos financieros se determina de la manera mostrada, tanto en moneda local como en US\$.

Tabla 50. Cálculo de tasas para descuento de los flujos.

Cálculo de tasas descuento		CCR	US\$
Tasa Nominal (descuento flujos)	in	14,7%	12,2%
Costo de oportunidad	ir	10,4%	7,50%
Factor de riesgo	R	1,0%	2,0%
Inflación	gPe	3,0%	2,44%

<sup>7</sup> Tasa de cambio vigente al momento de elaborar esta etapa del estudio en marzo de 2022

<sup>8</sup> Tasa Nominal  $in=(ir+R)+(1+ir+R)*gPe$  de igual manera en moneda local como en US\$

<sup>9</sup> Tasa Financiera Real  $= (in- TSD)/ (1+TSD)$  , de igual manera en moneda local como en US\$

Adicionalmente se definen otros parámetros de índole técnica para el análisis y algunos específicos para el proyecto con relación a la tarifa, vida útil para cálculo de depreciaciones y otros parámetros que se explican adelante. Se presentan a continuación.

Tabla 51. Parámetros tarifa y otros indicadores técnicos.

<b>Tarifa, parámetros técnicos</b>	
Tarifa promedio alcant. Sanit. US\$/m <sup>3</sup>	\$0,657
Otros ingresos alcantarillado	10%
Vida útil redes recolección años	70
Vida útil PTAR años	70
Horizonte de análisis del proyecto años (3 preinversión + 27 operación)	30
Vida útil equipos, bombas, otros, años	20
Incremento anual MO calificada	1,5%
Incremento anual MO no calificada	1,0%
Incremento anual O&M por deterioro instalaciones	1,0%

Adicionalmente se definen otros parámetros de índole técnica para el análisis y algunos específicos para el proyecto con relación a la tarifa, vida útil para cálculo de depreciaciones y otros parámetros que se explican adelante. Se presentan a continuación.

### **5.2.2. Determinación de tasas de inflación, índices y tasas de cambio**

Considerando que se tiene un entorno inflacionario, los cambios en el nivel general de precios pueden y de hecho afectan tanto el resultado financiero y económico del proyecto, por lo tanto, ignorarlos puede conducir a una evaluación incorrecta del

proyecto. Si el análisis se efectúa en moneda local, colones costarricenses, deben aplicarse estos índices inflacionarios a todos los rubros de ingresos y costos del proyecto.

Pero también la inflación afectará los rubros de construcción de obra, durante la etapa de ejecución, en donde los incrementos en los equipos e insumos para la construcción, incluyendo la mano de obra, deben calcularse e incorporarse como escalamiento y reflejarse así en el Plan Global de Inversiones.

También este índice general de precios afecta la tarifa, en este caso del servicio de alcantarillado, pero también incide en todos los rubros de costos administrativos y de operación y mantenimiento del proyecto. Por otra parte, si el análisis se efectuara en moneda extranjera, en US\$, de igual manera debe considerarse el índice al consumidor urbano de USA y ser proyectado, como indicador, para afectar a todos los costos del proyecto.

Por tanto, dado que el análisis a efectuar y los flujos construidos corresponden a un entorno inflacionario, sean expresados los valores en moneda local o extranjera, se determinan los siguientes parámetros o indicadores de inflación interna y externa proyectados, así como la proyección de la tasa de cambio. Con estos indicadores se inflan los conceptos que integran el flujo de caja financiero, sea durante la etapa de inversión, calculados durante 3 años de ejecución en forma semestral, o bien calculados anualmente durante la etapa de operación proyectada en el horizonte del proyecto.

Ya en el acápite anterior, dentro de los parámetros económicos, se definieron los indicadores de inflación externa, interna y tasa de cambio. Ahora con ellos se construyen los indicadores que afectarán a la tarifa e ingreso, así como a los costos de operación y mantenimiento al ser proyectados dentro del horizonte del proyecto.

Se muestran los valores asumidos y calculados en la siguiente tabla para los primeros 10 años, los primeros 3 son de inversión y los otros 7 corresponden a los primeros años de operación del alcantarillado.

Tabla 52. Condiciones de tasa de inflación interna y externa y tasas de cambio proyectadas.

Concepto	Parámetro inflación	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tasa inflación interna.	3,00%											

Concepto	Parámetro inflación	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice inflación interna <sup>10</sup>		1,000	1,030	1,061	1,093	1,126	1,159	1,194	1,230	1,267	1,305	1,344
Tasa inflac. externa	2,44%											
Índice inflación externa <sup>11</sup>		1,000	1,024	1,049	1,075	1,101	1,128	1,156	1,184	1,213	1,242	1,273
Inflación relativa <sup>12</sup>		1,000	1,005	1,011	1,016	1,022	1,028	1,033	1,039	1,045	1,050	1,056
Tasa de cambio (C./US\$)	670 <sup>13</sup>											
Tasa de cambio esperada		638	641,5	645,0	648,5	652,1	655,6	659,2	662,8	666,4	670,1	673,7

### 5.2.3. Presupuesto y plan global de inversiones del proyecto

Se determina, por parte de las áreas de ingeniería, para la alternativa finalmente seleccionada y con el prediseño, todos los costos de inversión del proyecto, tanto los referentes al sistema de recolección de aguas residuales, las previstas o conexiones domiciliarias, los pozos de registro, los colectores principales, las estructuras auxiliares como puentes o pasos de tubería, muros de contención y finalmente la planta de tratamiento de aguas residuales, incluyendo las obras para descarga del efluente tratado.

Se establece para este presupuesto de inversión un plazo de construcción de 3 años. Un primer año o año "cero" que incluye la realización de los diseños finales, permisos, consecución del financiamiento y propiamente todas las actividades constructivas, pruebas pre-operativas y de capacitación de los operadores hasta la puesta en marcha del sistema de alcantarillado y de la PTAR. Para la construcción propiamente y puesta en marcha se establecen los dos años posteriores.

<sup>10</sup> Índice de inflación interna =  $(1 + \text{Tasa de inflación interna}) \exp(\text{año})$

<sup>11</sup> Índice de inflación Externa =  $(1 + \text{Tasa de inflación Externa}) \exp(\text{año})$

<sup>12</sup> Inflación Relativa =  $(\text{Índice de Inflación Interna} / \text{Índice de Inflación Externa})$

<sup>13</sup> Tasa de cambio vigente al momento de elaborar esta etapa del estudio en marzo de 2022

En cada rubro de costo se desglosa la parte que corresponde a bienes y servicios comercializables internacionalmente y la relativa a bienes y servicios internos.

Se desglosa a su vez los conceptos de mano de obra a ser utilizada en la construcción, diferenciando entre mano de obra especializada y mano de obra no especializada.

El plan de inversiones incluye un detalle, para la opción seleccionada, de cómo se van a financiar las obras, sea como aporte del inversionista, en este caso la ASADA La Fortuna o bien el aporte de algún socio, como la asociación de desarrollo de la zona, ADIFORT, y/o un aporte gubernamental sin costo. También existe la posibilidad en la siguiente etapa de indagar con otras fuentes de recursos sin costo provenientes de fondos ambientales, canon de vertido u otros, que, aunque limitados en monto puedan complementar los recursos con costo vía financiamiento y disminuir la carga financiera sobre la ASADA.

Se complementan estos recursos con lo que va a ser financiado por algún banco local o internacional con fondos concesionales. Los terrenos adquiridos, para la PTAR y servidumbres se incluyen en el plan de inversiones y se contemplan como aporte propio de la ASADA asignándole un valor. Estos costos indirectos se cuantifican.

Por tanto, en el presupuesto de inversión final, se contemplan tanto los costos directos de construcción como los costos indirectos que reflejan el costo de los estudios (pre-inversión), los gastos administrativos o legales, intereses preoperativos, imprevistos y escalamiento.

Estos costos se distribuyen en el tiempo durante el período de ejecución, elaborando previamente un cronograma de ejecución de obra y derivando del mismo la distribución y uso de los fondos en el tiempo, sea mediante los desembolsos de un préstamo o bien los recursos propios del inversionista, en este caso de la ASADA.

A su vez es necesario determinar, en un entorno inflacionario el escalamiento de precios de estos recursos durante el período de ejecución de las obras. Este valor de escalamiento, es decir la inflación esperada durante el período de ejecución de las obras, se incorpora en el plan global de inversiones o presupuesto de ejecución.

Los presupuestos de inversión se presentan en detalle para las redes de recolección y el sistema de tratamiento para la PTAR en el capítulo técnico correspondiente.

A continuación, se presenta un resumen del Plan Global de Inversiones PGI, partiendo del supuesto, para dar viabilidad al proyecto, de que se concretan estos aportes al mismo, sea de una fuente gubernamental e incorporando un socio capitalista, como

podría ser la ADIFORT u otra entidad con posibilidades e interés en participar en el proyecto como socio con la ASADA La Fortuna. El monto del financiamiento se define en función de la capacidad de pago de la ASADA, aspecto que se analiza adelante en este documento, pero responde a la tercera parte de la inversión directa es decir aproximadamente US\$5,5 millones. Se observa a continuación el resultado.

Tabla 53. Plan Global de Inversiones del Proyecto.

RUBRO	TOTAL	Aportes de capital / otras fuentes	Financiamiento concesional
<b>Costos Directos</b>			
Red de alcantarillado sanitario	\$6.560.766	\$4.372.751	\$2.188.015
Servidumbres colectores	\$70.237	\$70.237	\$0
Protección de laderas en colectores en ríos	\$1.890.579	\$1.260.071	\$630.508
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	\$10.314.398	\$6.874.547	\$3.439.852
<b>Total costo directo</b>	<b>\$18.835.980</b>	<b>\$12.577.605</b>	<b>\$6.258.375</b>
<b>Costos Indirectos</b>		<b>67%</b>	<b>33%</b>
<b>Estudio de Factibilidad</b>	\$100.000	\$100.000	\$0
<b>Diseño final e inspección</b>	\$1.318.519	\$1.318.519	\$0

RUBRO	TOTAL	Aportes de capital / otras fuentes	Financiamiento concesional
<b>Imprevistos</b>	\$565.079	\$565.079	\$0
<b>Escalamiento</b>	\$965.774	\$965.774	\$0
<b>Utilidad contratista</b>	\$1.506.878	\$1.506.878	\$0
<b>Total costo indirecto</b>	<b>\$4.456.250</b>	<b>\$4.456.250</b>	<b>\$0</b>
<b>TOTAL PROYECTO</b>	<b>\$23.292.230</b>	<b>\$17.033.855</b>	<b>\$6.258.375</b>
%		<b>73%</b>	<b>27%</b>

La estructuración anterior es la que daría viabilidad al proyecto considerando que, acorde a los estados financieros de la ASADA actuales y proyectados, una vez entre en operación el nuevo alcantarillado, la misma ASADA tendría una capacidad de pago limitada, según se verá en una sensibilización posterior; por tanto, el máximo financiamiento que podría pagar es el mostrado en el cuadro anterior cercano a los US\$5,5 millones. La diferencia con los costos del proyecto, sean directos o indirectos, es lo que debe generarse mediante un aporte externo a la ASADA, sea como aporte sin costo del Gobierno central, complementado con un eventual socio como la ADIFORT.

#### **5.2.4. Determinación del cuadro de préstamo o recursos**

Una vez determinado del presupuesto las necesidades del financiamiento, se elabora el cuadro de préstamo, considerando las fuentes potenciales de recursos, el monto, su costo vía tasa de interés y comisiones financieras.

Se establecen los desembolsos en el tiempo acorde al cronograma de ejecución de obra y así se determina el servicio de la deuda, principal más intereses durante todo el plazo proyectado para amortización de la misma. El flujo de préstamos se incorpora

posteriormente en el flujo de caja -punto de vista del inversionista-.

En esta etapa preliminar del análisis las condiciones de un potencial financiamiento son referenciales y las existentes en el mercado financieros para este tipo de proyectos de obra pública en condiciones concesionales. Podrán variar una vez se hagan las indagatorias pertinentes con potenciales fuentes de recursos en etapas más avanzadas del desarrollo de este proyecto. Se asumen las siguientes condiciones de financiamiento acorde a la situación de préstamos otorgados por organismos internacionales para este tipo de proyectos (por ejemplo, JBIC, BM, otros).

Es importante mencionar que en un escenario base se establece un monto de préstamo definido por el total de la inversión directa a ser cubierta para luego determinar si la ASADA tendría o no capacidad de pago. Al no tenerla, como se verá, se establece el monto máximo que la ASADA podría cubrir, que se mencionó en el acápite anterior es alrededor de US\$5,5 millones. Se parte, por tanto, de un financiamiento de US\$16,6 millones que es el total de la inversión directa del proyecto. Se presenta la Tabla a continuación.

Tabla 54. Condiciones asumidas para el financiamiento del proyecto.

<b>Deuda escenario base</b>	
Monto Préstamo	\$18.835.980
Tasa de interés	3%
Años gracia	3
Período repago	30
Cuota anual US\$	-\$960.998
Cuota anual CCR	- @643.868.498
Cuota mensual CCR	- @53.655.708

Para efectos del monto del préstamo asumido y la construcción del cuadro de préstamos se parte que el mismo corresponde al 100% de la inversión directa y no se indica en este monto las inversiones indirectas las cuales fueron calculadas y presentadas, pero no se contemplan dentro del financiamiento. Estas inversiones indirectas indicadas adelante suman US\$3,4 millones y se refiere a costo de estudios, servidumbres, tramitaciones, etc. Y se asume que podrían irse ejecutando con fondos de preinversión de algún organismo internacional y recursos propios de la ASADA. Posteriormente se hará la sensibilización y determinación de la capacidad de pago de la ASADA lo cual definirá un tope máximo de deuda. Se presenta el cuadro de préstamos para los años seleccionados hasta comprender todo el horizonte del proyecto una vez la deuda se ha terminado de pagar por la ASADA.

Tabla 55. Préstamo según condiciones asumidas para el financiamiento del proyecto (Parte 1).

CONCEPTO	TASAS	2022	2023	2024	2027	2032
	CUOTAS	0	1	2	5	10
Saldo deuda principio año			∅0	∅7.572.064.043	∅12.199.436.514	∅10.096.085.391
Intereses en el año	3,00%	∅0	∅227.161.921	∅151.441.281	∅365.983.095	∅302.882.562
Comisión de compromiso	0,75%	∅0	∅37.860.320	∅0		
Pagos anuales		∅0	∅0	∅0	∅420.670.225	∅420.670.225
Intereses pagados en año		∅0	∅265.022.242	∅151.441.281	∅365.983.095	∅302.882.562
Nuevos desemb.recibidos		∅0	∅7.572.064.043	∅5.048.042.695	∅0	∅0
Saldo deuda fin de año		∅0	∅7.572.064.043	∅12.620.106.738	∅11.778.766.289	∅9.675.415.166
Flujo Neto de préstamos		∅0	∅7.307.041.802	∅4.896.601.415	-∅786.653.320	-∅723.552.786
Cuota anual / mensual US\$	-\$960.998	-\$80.083				
Cuota anual / mensual CCR	-∅643.868.498	-∅53.655.708				

Tabla 56. Préstamo según condiciones asumidas para el financiamiento del proyecto (Parte 2).

CONCEPTO	2037	2042	2047	2052	2054	2055
	15	20	25	30	32	33
Saldo deuda principio año	€7.992.734.268	€5.889.383.145	€3.786.032.022	€1.682.680.898	€841.340.449	€420.670.225
Intereses en el año	€239.782.028	€176.681.494	€113.580.961	€50.480.427	€25.240.213	€12.620.107
Pagos anuales	€420.670.225	€420.670.225	€420.670.225	€420.670.225	€420.670.225	€420.670.225
Intereses pagados en año	€239.782.028	€176.681.494	€113.580.961	€50.480.427	€25.240.213	€12.620.107
Nuevos desemb.recibidos	€0	€0	€0	€0	€0	€0
Saldo deuda fin de año	€7.572.064.043	€5.468.712.920	€3.365.361.797	€1.262.010.674	€420.670.225	€0
Flujo Neto de préstamos	-€660.452.253	-€597.351.719	-€534.251.185	-€471.150.652	-€445.910.438	-€433.290.331

### **5.2.5. Análisis en un entorno inflacionario, escalamiento en la inversión**

Para la determinación del escalamiento, producto de la presión inflacionaria y según se indicó, se debe contar con el cronograma de inversiones durante los 3 años asumidos como período de ejecución de este proyecto, incluyendo los diseños, contratación de ejecución de obras y obras constructivas hasta el inicio de operación del sistema y PTAR.

Se construye el cronograma semestral de inversiones por semestre, durante estos tres años en US\$, primero considerando la inflación externa y multiplicando todos los valores por el respectivo índice de inflación externa que en este caso corresponde al índice de precios del consumidor urbano de USA.

A este cronograma se le resta el cuadro de inversiones también en US\$ pero sin incorporar la inflación externa. La diferencia entre los valores de ambos cuadros, con y sin inflación, y la suma correspondiente de estas diferencias, nos da el valor de escalamiento en US\$ durante el período de ejecución del proyecto. Del cálculo efectuado se obtiene el escalamiento en US\$ es de \$964 664.

Este escalamiento o efecto inflacionario en moneda extranjera se incorpora en el plan global de inversiones, como un costo indirecto más del proyecto y definir si este monto se financia siempre con el préstamo o se cubre con recursos propios del inversionista, es decir la ASADA.

### **5.2.6. Cálculo de demanda para estimar el ingreso de caja**

Dado que es fundamental para el cálculo y proyección de los ingresos del proyecto, del capítulo de mercado en entrega anterior, se había determinado la proyección de la población y abonados para el futuro sistema de alcantarillado. Se presentan de nuevo los resultados ya analizados en el estudio de mercado. También considerando y proyectado en función del crecimiento de abonados del sistema actual de acueducto y asumiendo que el 79% de ellos serán usuarios del futuro alcantarillado.

Tabla 57. Proyección por abonados y por criterio INEC y turismo. Población Final Diseño Alcantarillado.

Año	Población según consumo. Cobertura de alcantarillado 79% (1)	% incremento anual	Población según criterio INEC y turismo (2)	% crecimiento anual	Población de diseño asumida - promedio-	% crecimiento anual
2021	8957	1,3%	11314	9,9%	10136	0,1%
2022	9510	3,6%	11773	2,4%	10641	5,0%
2023	10389	3,4%	12487	4,8%	11438	7,5%
2024	11267	3,3%	13202	2,2%	12235	7,0%
2025	12146	3,2%	13917	2,2%	13031	6,5%
2026	13025	3,1%	15281	7,8%	14153	8,6%
2027	13904	3,0%	16022	2,2%	14963	5,7%
2028	14783	2,9%	16762	2,1%	15773	5,4%
2029	15176	2,8%	17121	-0,9%	16148	2,4%
2030	15569	2,8%	17480	2,1%	16524	2,3%
2031	15962	2,7%	17839	2,1%	16900	2,3%
2032	16355	2,6%	18197	2,0%	17276	2,2%
2033	16748	2,6%	18556	2,0%	17652	2,2%
2034	17141	2,5%	18915	1,9%	18028	2,1%
2035	17534	2,4%	19274	1,9%	18404	2,1%

Año	Población según consumo. Cobertura de alcantarillado 79% (1)	% incremento anual	Población según criterio INEC y turismo (2)	% crecimiento anual	Población de diseño asumida - promedio-	% crecimiento anual
2036	17927	2,4%	19633	1,9%	18780	2,0%
2037	18320	2,3%	19991	1,8%	19156	2,0%
2038	18630	2,3%	20285	1,4%	19457	1,6%
2039	18940	2,2%	20578	1,8%	19759	1,6%
2040	19250	2,2%	20871	1,8%	20061	1,5%
2041	19560	2,1%	21165	1,7%	20362	1,5%
2042	19870	2,1%	21458	1,7%	20664	1,5%
2043	20180	2,0%	21751	1,7%	20965	1,5%
2044	20489	2,0%	22045	1,6%	21267	1,4%
2045	20799	2,0%	22338	1,6%	21569	1,4%
2046	21109	1,9%	22631	1,6%	21870	1,4%
2047	21419	1,9%	22924	1,6%	22172	1,4%
2048	21729	1,8%	23218	1,5%	22473	1,4%
2049	22039	1,8%	23511	1,5%	22775	1,3%
2050	22349	1,8%	23804	1,5%	23077	1,3%
Promedio		2,8%	Promedio	2,3%	23077	2,5%

Año	Población según consumo. Cobertura de alcantarillado 79% (1)	% incremento anual	Población según criterio INEC y turismo (2)	% crecimiento anual	Población de diseño asumida - promedio-	% crecimiento anual
				# abonados	5769	

A su vez del análisis de los consumos de agua potable se determina los consumos promedio por sector, y de aquí, con el coeficiente de retorno, se calculan los volúmenes que serán descargados a la red de recolección y a la PTAR. En la Tabla a continuación se presentan también los consumos históricos, los cuales fueron proyectados.

Tabla 58. Análisis de los consumos históricos y abonados para el Acueducto de la Fortuna.

Año	Consumo m <sup>3</sup> anual	Variación consumo %	Abonados activos	Variación abonados %	Población equivalente abastecida
2011	633.512		1.893		7,572
2012	1.174.765	85,4%	1.93	1,95%	7,72
2013	1.215.700	3,5%	1.959	1,50%	7,836
2014	1.335.349	9,8%	2.015	2,86%	8,06
2015	1.461.214	9,4%	2.081	3,28%	8,324
2016	1.437.449	-1,6%	2.214	6,39%	8,856
2017	1.491.377	3,8%	2.31	4,34%	9,24
2018	1.449.524	-2,8%	2.503	8,35%	10,012
2019	1.542.378	6,4%	2.637	5,35%	10,548

Año	Consumo m <sup>3</sup> anual	Variación consumo %	Abonados activos	Variación abonados %	Población equivalente abastecida
2020	1.229.053	-20,3%	2.733	3,64%	10,932
2021 mayo	parcial		2.795		11,18
Promedio 2012 a 2019	1.388.470	1,43%		4,25%	

### 5.2.7. Tarifa para el escenario base

Del análisis de la demanda y consumo histórico de agua potable para la ASADA La Fortuna y su estructura tarifaria actual, se había procedido en entrega anterior, a derivar la tarifa promedio de aguas residuales por categoría de consumo, considerando que la tarifa por concepto de aguas residuales, una vez entre el sistema, dependerá de lo que consuma cada abonado. Se parte y mantiene en la proyección de tarifa e ingresos la estructura actual de consumo según categoría acorde a la siguiente Tabla.

Tabla 59. Número de Conexiones actuales por categoría de consumo 2021

Nomenclatura	Conexiones	%	Observación
Bombeo	1	0%	estación bombeo
DOMIPRE	2.122	76%	Residenciales y preferenciales
DOMIPRE FIJO	8	0%	Residenciales y preferenciales sin medición
EMPREGO	664	24%	Empresariales y de Gobierno
Totales	2.795	100%	

También como primer criterio se obtiene una tarifa promedio de alcantarillado que parte de la tarifa actual de agua potable y se le aplica un 95% para obtener el promedio a utilizar de todas las categorías de consumo. De acuerdo con lo mencionado entonces se obtienen los siguientes datos de tarifa para el primer año los cuales serán proyectados e indexados por inflación local. Esto sería una primera referencia de tarifas e ingresos.

En el caso de la determinación de la tarifa de alcantarillado, se parte de la tarifa de agua potable y de ella se deriva la tarifa de alcantarillado. Se determina en las estructuras tarifarias de ARESEP que, en general, la relación en todas, o casi todas, las categorías de consumo entre la tarifa unitaria de alcantarillado con respecto a la de agua potable es de 95%. Se asume por tanto este factor de 0,95.

Primero se parte de los consumos promedio de agua potable en las dos grandes categorías consideradas domiciliar DOMIPE y empresarial-gobierno EMPREGO con datos de consumo y tarifa promedio para cada categoría. De aquí se obtiene una tarifa promedio de agua potable ponderada y consolidada, a la cual se le aplica el factor de 0,95 y se obtiene  $\text{¢}316/\text{m}^3/\text{mes}$ .

Segundo procedimiento, se toman los estados de resultados de La ASADA para la operación actual del acueducto y se consideran los ingresos por tarifa y consumos registrados para el 2020 y se obtiene, después de aplicar el factor de 0,95, un valor de  $\text{¢}414/\text{m}^3/\text{mes}$  para el servicio del alcantarillado. Se toma este último valor como inicio de la proyección y luego se le aplica a esta una indexación anual en función de la inflación local proyectada y se aplica a los abonados proyectados.

Se aclara que la tarifa obtenida es la tarifa a emplear en las proyecciones para el escenario base. No corresponde a la tarifa que se requeriría para cubrir la totalidad de la inversión y de los costos de O&M lo cual será valorado adelante al efectuar los escenarios de sensibilización.

Tabla 60. Determinación de la tarifa promedio del alcantarillado derivada de promedios de consumo de la ASADA como 1er criterio

Categoría consumo	Consumo prom. $\text{m}^3/\text{mes}$	# abonados	Volumen prom. $\text{m}^3/\text{abonado}/\text{mes}$	Tarifa promedio agua residual $\text{¢}/\text{m}^3$
Residencial	66.534	1.812	37	$\text{¢}302$
Empresarial/ gobierno	48.691	<u>566</u>	<u>86</u>	$\text{¢}336$
Totales	115.225	2.377	48	$\text{¢}316$

Seguidamente para tener otra base de comparación de la tarifa a emplear se solicitan los estados financieros de la ASADA La Fortuna de los 2 últimos años completos. De aquí se obtienen los ingresos por agua potable y al dividir entre los consumos de cada período da una tarifa promedio de todas las categorías. Se muestran los resultados a continuación. A esta tarifa promedio de agua potable se le aplica el 95% para obtener la tarifa promedio del alcantarillado sanitario.

Tabla 61. Ingresos, consumo y tarifa promedio de estados financieros. Segundo criterio.

Concepto	Año 2019	Año 2020	Variación
Ingresos vía tarifa	€613.847.294	€535.954.082	-13%
Consumo anual m <sup>3</sup>	1.542.378	1.229.053	-20%
Abonados activos	2.637	2.733	4%
Consumo m <sup>3</sup> / abonado todas las categorías mensuales	49	37	
Tarifa promedio ¢ / m <sup>3</sup>	€398	€436	10%
Tarifa alcantarillado promedio 95% agua potable	€378	€414	
Tarifa A.S. asumida promedio		€414	

Se obtiene la tarifa promedio de agua potable de ¢436 por m<sup>3</sup> y al aplicarle el 95% mencionado generamos la tarifa promedio de alcantarillado a ser utilizada en las proyecciones de ¢414 por m<sup>3</sup>. Se utiliza este valor de ¢414 que al utilizar el TC de 670<sup>14</sup> se obtiene US\$0,618 por metro cúbico la cual es indexada por inflación local para las proyecciones de tarifa e ingresos.

## 5.2.8. Proyección de ingresos

Seguidamente se presenta la proyección de ingresos con algunos años escogidos. Debe de considerarse que se asumen 3 años de ejecución y hasta el 4º año estaría el proyecto operativo y generando ingresos. Las cifras, salvo otra indicación son en millones de colones costarricenses afectados por inflación local la cual se ha proyectado. Por tanto, la tarifa y los ingresos son indexados en colones a una tasa de inflación local proyectada

<sup>14</sup> Tasa de cambio vigente al momento de elaborar esta etapa del estudio en marzo de 2022

Tabla 62. Abonados, volumen de aguas residuales, tarifa e ingresos proyectados (Parte 1).

Concepto	Tarifa alcan. Hoy	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
		0	1	2	3	4	5	6	7
Número total de abonados		2.377	2.597	2.817	3.037	3.256	3.476	3.696	3.794
(Domipre+ Empleo)									
Volumen promedio m <sup>3</sup> / año		1.382.702	1.510.476	1.638.249	1.766.023	1.893.796	2.021.570	2.149.344	2.206.496
Tarifa promedio (colones/m <sup>3</sup> aguas residuales)	414,3	414,3	416,5	418,8	421,1	423,4	425,7	428,0	430,4
INGRESOS SERVICIO ALCANTARILLADO colones					743.669.302	801.834.034	860.612.471	920.009.585	949.636.207
INGRESOS OTROS CONCEPTOS colones					74.366.930	80.183.403	86.061.247	92.000.958	94.963.621
TOTAL INGRESO					818.036.232	882.017.438	946.673.719	1.012.010.543	1.044.599.828
OTROS BENEFICIOS									
<b>TOTAL DISPONIBILIDADES</b>					<b>€818.036.232</b>	<b>€882.017.438</b>	<b>€946.673.719</b>	<b>€1.012.010.543</b>	<b>€1.044.599.828</b>

Tabla 63. Abonados, volumen de aguas residuales, tarifa e ingresos proyectados (Parte 2).

Concepto	2032	2037	2042	2047	2052
	10	15	20	25	30
Número total de abonados	4.089	4.580	4.967	5.355	5.745
Volumen promedio m <sup>3</sup> / año	2.377.952	2.663.713	2.888.989	3.114.265	3.341.052
Tarifa promedio (colones/m <sup>3</sup> aguas residuales)	437,5	449,6	462,0	474,8	487,9
INGRESOS SERVICIO ALCANTARILLADO colones	1.040.304.040	1.197.520.353	1.334.687.568	1.478.521.175	1.630.021.845
INGRESOS OTROS CONCEPTOS colones	104.030.404	119.752.035	133.468.757	147.852.117	163.002.184
TOTAL INGRESO	1.144.334.445	1.317.272.389	1.468.156.325	1.626.373.292	1.793.024.029
OTROS BENEFICIOS					
<b>TOTAL DISPONIBILIDADES</b>	<b>₡1.144.334.445</b>	<b>₡1.317.272.389</b>	<b>₡1.468.156.325</b>	<b>₡1.626.373.292</b>	<b>₡1.793.024.029</b>

### 5.2.9. Proyección de costos de operación y mantenimiento

Para la alternativa escogida, sistema de redes y PTAR, se estiman los costos anuales de operación y mantenimiento con proyecto, para los tipos de obras a construir.

Estos costos se calculan a precios de mercado por año para todo el horizonte del proyecto, discriminando por principales actividades, entre costos de materiales, mano de obra (calificada y no calificada) y equipos y por forma de ejecución (contrato o administración directa).

Los costos de operación y mantenimiento del proyecto una vez que entre en operación, se realizarán por componente y actividad. Para lo cual deberá utilizar la estructura de la contabilidad costos del AyA y definida por MIDEPLAN.

1. Mano de obra
2. Electricidad
3. Materiales y suministros
4. Combustibles
5. Gastos Administrativos
6. Otros gastos (canon de vertidos y reportes operacionales al MINSa)
7. Costos de prevención de desastres y los costos de mitigación ambiental derivados de los estudios de impacto ambiental.

A continuación, se presentan los costos definidos para el proyecto en redes de recolección y los correspondientes a la PTAR.

Se menciona que las cifras son proyectadas en colones costarricenses e incorporando en la proyección una indexación por inflación aplicada a cada categoría de costo a saber, mano de obra, calificada, no calificada e insumos de operación. Es decir, es un análisis en un entorno inflacionario. Aun cuando se proyecta desde el año "cero" están los 3 años de preinversión y diseño final, por lo que en este escenario el sistema estaría operando a partir del año 3 con los costos correspondientes. Se presentan los costos de O&M para el sistema de redes y de seguido los correspondientes a la PTAR.

Tabla 64. Costos de O&M proyectados con inflación Redes por gravedad para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses (Parte 1).

Costos de operación y mantenimiento	Párametro inflación	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
		1	5	10	15
		2023	2027	2032	2037
Indice inflac.M.de O.Calif	1,5%	1,015	1,077	1,161	1,250
Indice inflac. no Calific.	1,0%	1,010	1,051	1,105	1,161
Incremento costos por deterioro de instalaciones e inflacion local	1,0%	1,010	1,051	1,105	1,161
<b>Servicios personales</b>		<b>¢9.799.020</b>	<b>¢10.637.509</b>	<b>¢11.787.947</b>	<b>¢13.063.708</b>
Personal calificado		¢1.230.180	¢1.358.684	¢1.538.351	¢1.741.777
Personal no calificado		¢8.568.840	¢9.278.826	¢10.249.596	¢11.321.931
<b>Servicios no personales</b>		<b>¢22.064.763</b>	<b>¢26.891.756</b>	<b>¢34.436.501</b>	<b>¢44.097.999</b>
Servicios básicos (teléfono, internet, agua)					
Electricidad		¢9.456.327	¢11.525.038	¢14.758.500	¢18.899.142
Mantenimiento, reparación y limpieza		¢0	¢0	¢0	¢0
Servicios técnicos		¢12.608.436	¢15.366.718	¢19.678.001	¢25.198.856

Costos de operación y mantenimiento	Párametro inflación	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
		1	5	10	15
		2023	2027	2032	2037
Servicios comerciales					
Materiales y suministros		¢1.513.012	¢1.844.006	¢2.361.360	¢3.023.863
Productos químicos		¢0	¢0	¢0	¢0
Combustibles		¢504.337	¢614.669	¢787.120	¢1.007.954
Materiales de limpieza					
Gastos de electricidad		¢0	¢0	¢0	¢0
Otros materiales y suministros		¢1.008.675	¢1.229.337	¢1.574.240	¢2.015.909
<b>Otros costos de operación</b>	<b>5%</b>	<b>¢1.668.840</b>	<b>¢1.968.664</b>	<b>¢2.429.290</b>	<b>¢3.009.278</b>
<b>TOTAL O&amp;M REDES</b>		<b>¢35.045.635</b>	<b>¢41.341.935</b>	<b>¢51.015.099</b>	<b>¢63.194.847</b>

Tabla 65. Costos de O&M proyectados con inflación Redes por gravedad para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses (Parte 2).

Costos de operación y mantenimiento	Párametro inflación	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
		20	25	30
		2042	2047	2052
Indice inflac.M.de O.Calif	1,5%	1,347	1,451	1,563
Indice inflac. no Calific.	1,0%	1,220	1,282	1,348
Incremento costos por deterioro de instalaciones e inflacion local	1,0%	1,220	1,282	1,348
<b>Servicios personales</b>		<b>¢14.478.558</b>	<b>¢16.047.794</b>	<b>¢17.788.407</b>
Personal calificado		¢1.972.103	¢2.232.886	¢2.528.155
Personal no calificado		¢12.506.455	¢13.814.907	¢15.260.252
<b>Servicios no personales</b>		<b>¢56.470.124</b>	<b>¢72.313.370</b>	<b>¢92.601.594</b>
Servicios básicos (teléfono, internet, agua)				
Electricidad		¢24.201.482	¢30.991.444	¢39.686.397
Mantenimiento, reparación y limpieza		¢0	¢0	¢0
Servicios técnicos		¢32.268.642	¢41.321.926	¢52.915.197

Costos de operación y mantenimiento	Párametro inflación	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
		20	25	30
		2042	2047	2052
Servicios comerciales				
Materiales y suministros		€3.872.237	€4.958.631	€6.349.824
Productos químicos		€0	€0	€0
Combustibles		€1.290.746	€1.652.877	€2.116.608
Materiales de limpieza				
Gastos de electricidad		€0	€0	€0
Otros materiales y suministros		€2.581.491	€3.305.754	€4.233.216
<b>Otros costos de operación</b>	<b>5%</b>	<b>€3.741.046</b>	<b>€4.665.990</b>	<b>€5.836.991</b>
<b>TOTAL O&amp;M REDES</b>		<b>€78.561.965</b>	<b>€97.985.785</b>	<b>€122.576.816</b>

Tabla 66. Costos de O&M proyectados con inflación PTAR para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses- (Parte 1).

Costos de operación y mantenimiento	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA TRATAMIENTO			
	1	5	10	15
	2023	2027	2032	2037
COMPONENTE PTAR				
<b>Servicios personales</b>	₡86.246.444	₡94.464.412	₡105.860.769	₡118.649.549
Personal calificado	₡49.618.080	₡54.801.143	₡62.047.845	₡70.252.823
Personal no calificado	₡36.628.363	₡39.663.269	₡43.812.924	₡48.396.726
<b>Servicios no personales</b>	<b>₡26.502.932</b>	<b>₡32.300.840</b>	<b>₡41.363.157</b>	<b>₡52.967.996</b>
Servicios básicos (teléfono, internet, agua)	₡1.513.012	₡1.844.006	₡2.361.360	₡3.023.863
Electricidad para iluminación y consumo doméstico y oficinas de la PTAR	₡882.591	₡1.075.670	₡1.377.460	₡1.763.920
Mantenimiento, reparación y limpieza	<b>₡8.195.483</b>	<b>₡9.988.366</b>	<b>₡12.790.700</b>	<b>₡16.379.257</b>
Servicios técnicos	₡15.911.846	₡19.392.797	₡24.833.637	₡31.800.957
Materiales y suministros	₡335.480.658	₡408.872.004	₡523.585.048	₡670.481.961
Productos químicos	₡149.879.652	₡182.668.038	₡233.917.345	₡299.545.147
Combustibles	₡504.337	₡614.669	₡787.120	₡1.007.954

Costos de operación y mantenimiento	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA TRATAMIENTO			
	1	5	10	15
	2023	2027	2032	2037
<b>COMPONENTE PTAR</b>				
Materiales de limpieza	¢882.591	¢1.075.670	¢1.377.460	¢1.763.920
Gastos de electricidadde la operación de los equipos del proceso de la PTAR	¢184.214.078	¢224.513.627	¢287.503.123	¢368.164.940
Otros costos de operación	¢18.099.180	¢26.781.863	¢33.540.449	¢42.104.975
<b>TOTAL O&amp;M PTAR</b>	<b>¢466.329.213</b>	<b>¢562.419.120</b>	<b>¢704.349.424</b>	<b>¢884.204.481</b>
<b>TOTAL O&amp;M REDES Y PTAR</b>	<b>¢501.374.848</b>	<b>¢603.761.054</b>	<b>¢755.364.522</b>	<b>¢947.399.328</b>

Tabla 67. Costos de O&M proyectados con inflación PTAR para varios años seleccionados. -Cifras en colones costarricenses- (Parte 2).

Costos de operación y mantenimiento	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA TRATAMIENTO			
	16	20	25	30
	2038	2042	2047	2052
<b>COMPONENTE PTAR</b>				
<b>Servicios personales</b>	¢121.389.181	¢133.002.892	¢149.114.447	¢167.202.085
Personal calificado	¢72.019.682	¢79.542.797	¢90.061.244	¢101.970.611
Personal no calificado	¢49.369.500	¢53.460.094	¢59.053.203	¢65.231.474
<b>Servicios no personales</b>	<b>¢55.653.632</b>	<b>¢67.828.686</b>	<b>¢86.858.688</b>	<b>¢111.227.743</b>
Servicios básicos (teléfono, internet, agua)	¢3.177.182	¢3.872.237	¢4.958.631	¢6.349.824
Electricidad para iluminación y consumo doméstico y oficinas de la PTAR	¢1.853.356	¢2.258.805	¢2.892.535	¢3.704.064
Mantenimiento, reparación y limpieza	<b>¢17.209.734</b>	<b>¢20.974.617</b>	<b>¢26.859.252</b>	<b>¢34.394.878</b>
Servicios técnicos	¢33.413.361	¢40.723.026	¢52.148.270	¢66.778.978
Materiales y suministros	¢704.477.407	¢858.592.240	¢1.099.478.700	¢1.407.948.215
Productos químicos	¢314.732.984	¢383.585.471	¢491.204.131	¢629.016.259
Combustibles	¢1.059.061	¢1.290.746	¢1.652.877	¢2.116.608

Costos de operación y mantenimiento	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA TRATAMIENTO			
	16	20	25	30
	2038	2042	2047	2052
<b>COMPONENTE PTAR</b>				
Materiales de limpieza	€1.853.356	€2.258.805	€2.892.535	€3.704.064
Gastos de electricidad de la operación de los equipos del proceso de la PTAR	€386.832.007	€471.457.219	€603.729.158	€773.111.285
Otros costos de operación	€44.076.011	€52.971.191	€66.772.592	€84.318.902
<b>TOTAL O&amp;M PTAR</b>	<b>€925.596.232</b>	<b>€1.112.395.008</b>	<b>€1.402.224.426</b>	<b>€1.770.696.946</b>
<b>TOTAL O&amp;M REDES Y PTAR</b>	<b>€991.584.706</b>	<b>€1.190.956.973</b>	<b>€1.500.210.211</b>	<b>€1.893.273.763</b>

Para esta situación particular se menciona que aproximadamente el 90% de los costos totales de O&M corresponden a la PTAR operando y solo el 10% a las redes de recolección. En el caso de otras opciones de redes que requieren bombeo y que fueron descartadas en la etapa anterior, la relación cambia y los costos de O&M de la red representaban aproximadamente el 20% de los costos totales y los de la PTAR el 80%.

### 5.2.10. Niveles de deuda y capacidad de pago de ASADA

Se calculan los niveles de deuda asumiendo los montos de inversión necesarios para cubrir la opción de menor costo que fue seleccionada en la etapa anterior. Para este nivel de deuda, considerando únicamente la inversión directa, como escenario base a analizar, se presentan los resultados del préstamo y los montos que la ASADA debería pagar. La cuota anual incluye capital más intereses en US\$ y el monto correspondiente en colones también por año dado que la operativa de la ASADA es en colones.

A fin de mostrar otros indicadores y elementos financieros que reflejan si la ASADA tuviera capacidad de pago en su flujo de efectivo, considerando los ingresos del nuevo sistema por efectos de la tarifa de alcantarillado y los costos correspondientes, se presenta la tabla siguiente todo proyectado para lo que sería el 1er año de operación del nuevo sistema mostrando el margen operativo neto de la ASADA después de pagar el adeudo asumido.

Tabla 68. Margen operativo de la ASADA una vez operando el alcantarillado, considerando ingresos, costos y servicio de la deuda.

Concepto	1er año operación	% de Ingresos
Ingresos tarifa	¢818.036.232	100%
O&M Redes	(¢38.050.868)	5%
O&M PTAR	(¢514.376.477)	63%
Otros gastos	(¢27.621.367)	3%

Concepto	1er año operación	% de Ingresos
Margen operativo (Antes de impuestos y otros)	¢237.987.519	29%
Pago deuda anual	(¢643.868.498)	79%
Neto despues deuda	(¢405.880.980)	(\$605.793)

Se observa del cuadro anterior que en el escenario base, para un préstamo asumido por concepto de inversión directa por \$18.835.980 los ingresos tarifarios por alcantarillado podrían cubrir básicamente todos los costos directos e indirectos de O&M obteniéndose un margen operativo muy positivo, 29% de los ingresos, pero sin poder cubrir la nueva deuda para dichos montos de inversión. Es decir, el pago de deuda anual representa el 79% de los ingresos lo que torna inmanejable para la ASADA afrontar estos niveles de deuda. Esto se analiza en la sensibilización para definir mediante cuál estructura financiera el proyecto podría ser viable.

### 5.2.11. Capacidad de pago de ASADA operación conjunta acueducto y alcantarillado

Se considera importante analizar ahora la situación financiera del acueducto actualmente operado por la ASADA y en función de sus estados financieros, adicionando la contribución del nuevo proyecto de alcantarillado sanitario una vez operativo, sobre todo en función de los niveles de deuda a contraer con el nuevo proyecto. Las cifras se proyectan con el indicador de inflación correspondiente al 1er año de operación esperada del alcantarillado, tanto considerando las cifras actuales según estados financieros de la ASADA para el sistema de acueducto como las cifras del alcantarillado una vez en operación. Los resultados a continuación.

Tabla 69. Margen operativo anual de la ASADA consolidados del acueducto y una vez operando el alcantarillado, considerando ingresos, costos y servicio de la deuda.

Concepto	Montos	% de Ingresos
Ingresos totales acueducto + alcantarillado 1er año de operación	¢1.529.653.486	100,0%
(1) Margen operativo acueducto	¢464.764.536	30,4%
(2) Margen operativo alcantarillado	¢237.987.519	15,6%
Margen total (1) + (2)	¢702.752.055	45,9%
Gastos financieros acueducto	-¢9.769.804	0,6%
Pago nueva deuda alcantarillado	-¢643.868.498	42,1%
<b>Flujo Neto después de deuda</b>	¢49.113.753	3,2%

Se observa lo siguiente, del cuadro anterior, consolidando los resultados de agua potable más alcantarillado y asumiendo una deuda de alrededor de US\$18,8 millones necesarios para cubrir únicamente la inversión directa del nuevo proyecto.

- ✓ La operación consolidada del acueducto y alcantarillado permite atenuar los efectos financieros de la nueva deuda a contraer con el alcantarillado.
- ✓ Se favorece considerando que los niveles actuales de deuda de la ASADA con la administración del acueducto no presentan servicios de deuda significativos. Es decir, la ASADA presenta una situación financiera sana y con adecuados niveles de generación de caja y utilidades.
- ✓ Bajo la condición consolidada se presenta un flujo neto después de deuda positivo, de un 3,2% sobre el monto de los ingresos por lo que, bajo los niveles

de deuda planteados, US\$18,8 millones, se presenta una capacidad de pago positiva.

- ✓ Si se considera únicamente el alcantarillado y según se analizó en el acápite anterior, la ASADA no presentaría una capacidad de pago positiva para estos niveles de deuda. Esto se considerará en el posterior análisis de sensibilización.

### **5.2.12. Flujo de caja e indicadores de rentabilidad**

Con todos los parámetros mostrados y los cálculos de ingresos, inversiones costos operativos y servicio de la nueva deuda se construye el flujo de caja proyectado a 30 años, horizonte del proyecto.

Del flujo de caja, para el escenario base se calculan los indicadores de rentabilidad tales como:

- VPN (Valor Presente Neto)
- TIR (Tasa Interna de Retorno)
- B/C (Relación Beneficio -Costo)
- Adicionalmente se calcula en función de los estados financieros de la ASADA derivados de la operación futura del alcantarillado, la capacidad de pago de la misma para los niveles de deuda partiendo de un préstamo que cubra el 100% de los costos directos y luego se sensibiliza viendo la condición con menores niveles de deuda.

A continuación, se muestra el flujo de caja obtenido para el escenario base y la alternativa que ha sido elegida en este caso con los colectores dentro del área de protección de los cauces

Tabla 70. Flujo de Caja del Proyecto cifras en colones con inflación (Parte 1).

Concepto	2023	2024	2025	2026	2027
	1	2	3	4	5
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>					
Ingresos vía tarifa			₡743.669.302	₡801.834.034	₡860.612.471
Otros ingresos			₡74.366.930	₡80.183.403	₡86.061.247
Ingreso total sistema alcantarillado	₡0		₡818.036.232	₡882.017.438	₡946.673.719
<b>INVERSIONES (-)</b>					
<b>TOTAL INVERSION DIRECTA</b>	<b>₡7.869.713.632</b>	<b>₡4.764.127.259</b>			
Tuberías - todos los diámetros-	₡2.717.806.280	₡1.516.074.049			
Equipo de bombeo, cárcamo y accesorios	₡130.137.860	₡79.823.262			
Servidumbres	₡28.389.487	₡19.029.787			
Protección de laderas en colectores en cauces	₡764.167.497	₡512.229.938			
<b>Total redes con servidumbres y protecciones</b>	<b>₡3.640.501.124</b>	<b>₡2.127.157.036</b>			
<b>Planta de Tratamiento de aguas residuales</b>					
Pretratamiento	₡610.927.133	₡317.577.205			
Tratamiento Primario	₡349.235.461	₡223.349.939			
Tratamiento Secundario UASB	₡519.543.922	₡350.678.571			



Concepto	2023	2024	2025	2026	2027
	1	2	3	4	5
Tratamiento Secundario (Filtro Aerobio)	€906.741.298	€563.325.116			
Tratamiento Secundario (Sedimentador secundario)	€386.817.361	€256.817.882			
Tratamiento Secundario (Lechos de secado)	€372.393.917	€256.080.173			
Tratamiento secundario (Deshidratacion de lodos)	€0	€0			
Tratamiento terciario (Desinfeccion)	€243.699.878	€127.603.293			
Tratamiento biogas	€141.949.217	€74.460.442			
Obras complementarias	€673.144.546	€450.041.667			
Emisario descarga efluente tratado	€24.759.773	€17.035.934			
<b>Total PTAR</b>	<b>€4.229.212.508</b>	<b>€2.636.970.223</b>			
<b>COSTOS DE O&amp;M</b>					
<b>Total O&amp;M redes recolección</b>			€38.050.868	€39.658.950	€41.341.935
<b>Total O&amp;M PTAR</b>			€514.376.477	€537.833.042	€562.419.120
<b>Total costos de O&amp;M sistema alcantarillado</b>	€0	€0	€552.427.346	€577.491.992	€603.761.054
<b>FLUJO FINANCIERO NETO -EBIDTA-</b>	<b>€ (7.869.713.632)</b>	<b>€ (4.764.127.259)</b>	<b>€ 265.608.886</b>	<b>€ 304.525.446</b>	<b>€ 342.912.664</b>

Tabla 71. Flujo de Caja del Proyecto cifras en colones con inflación (Parte 2).

Concepto	2032	2037	2042	2047	2052
	10	15	20	25	30
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>					
Ingresos vía tarifa	₡1.040.304.040	₡1.197.520.353	₡1.334.687.568	₡1.478.521.175	₡1.630.021.845
Otros ingresos	₡104.030.404	₡119.752.035	₡133.468.757	₡147.852.117	₡163.002.184
Ingreso total sistema alcantarillado	₡1.144.334.445	₡1.317.272.389	₡1.468.156.325	₡1.626.373.292	₡1.793.024.029
<b>COSTOS DE O&amp;M</b>					
<b>Total O&amp;M redes recolección</b>	₡51.015.099	₡63.194.847	₡78.561.965	₡97.985.785	₡122.576.816
<b>Total O&amp;M PTAR</b>	₡704.349.424	₡884.204.481	₡1.112.395.008	₡1.402.224.426	₡1.770.696.946
<b>Total costos de O&amp;M sistema alcantarillado</b>	₡755.364.522	₡947.399.328	₡1.190.956.973	₡1.500.210.211	₡1.893.273.763
<b>FLUJO FINANCIERO NETO -EBIDTA-</b>	₡388.969.922	₡369.873.061	₡277.199.351	₡126.163.081	₡(100.249.733)
<b>FLUJO NETO ANTES DE PTMOS</b>	₡388.969.922	₡369.873.061	₡277.199.351	₡126.163.081	₡(100.249.733)

Seguidamente se presenta, siempre para el escenario base y con los parámetros de ingresos y costos considerados en acápites anteriores, los diferentes indicadores de rentabilidad financiera.

Tabla 72. Resultados de rentabilidad del Proyecto para la Opción PTAR y colectores dentro de la zona de protección

<b>Resultados rentabilidad financiera</b>		
Tasa Financiera descuento flujos en colones	14,69%	
Montos de Inversión Inicial	€12.620.106.738	\$18.835.980
VPN de flujo total	(€8.942.721.876)	-\$13.347.346
VPN de flujo de costos de O&M	€3.848.158.019	\$5.743.519
B/C Indicador Beneficio /Costo	<b>0,33</b>	
<b>Rentabilidad punto de vista de inversión total - sin el efecto de deuda -</b>		
VPN Valor presente neto	(€8.942.721.876)	-\$13.347.346,08
TIR Tasa Interna de Retorno	-4,5%	
<b>Rentabilidad punto de vista del Inversionista - con el efecto de deuda -</b>		
VPN Valor presente neto	(€2.277.305.665)	-\$3.398.963,68
TIR Tasa Interna de Retorno	ND	

De la tabla anterior, en los primeros valores dados, en lo referente al cálculo del indicador de Beneficio / Costo se observa un valor menor a la unidad, lo que indica que el valor actualizado de los ingresos no cubre los costos de inversión inicial sumados a la suma actualizada de los costos anuales de O&M.

A su vez el Valor Presente Neto VPN y la Tasa Interna de Retorno TIR se obtienen desde el punto de vista de la inversión total, es decir sin el efecto del apalancamiento, presentan resultados negativos en ambos parámetros. En este caso la TIR obtenida es menor al valor para la tasa de descuento 14,69%.

A su vez, si se considera el efecto del apalancamiento vía deuda, es decir el punto de vista del inversionista, en este caso la ASADA, siempre se generan resultados negativos, aunque mejora el panorama.

Por lo indicado, el proyecto, a la estructura tarifaria dada, no presenta capacidad de pago para esta deuda según se demostró en la Tabla 57 anterior. Esto considerando únicamente el proyecto del alcantarillado. Si se combina con la operación actual del acueducto la situación mejora significativamente. Sin embargo, el margen operativo se reduce significativamente y se compromete la disponibilidad de recursos tanto como excedente para cubrir

Por lo anterior se buscará si existen condiciones en las cuales el proyecto pueda resultar viable mediante una estructuración diferente a únicamente el esquema de deuda para atender el 100% de las inversiones.

### **5.2.13. Flujo de Caja y Análisis de sensibilidad**

#### **Situación financiera de la ASADA La Fortuna**

Para efectuar el análisis de sensibilidad y la capacidad de pago de la ASADA que administra el acueducto de la Fortuna y el futuro sistema de alcantarillado, debe determinarse qué capacidad de pago tendría para afrontar los nuevos costos de O&M así como el nuevo servicio de la deuda necesario para financiar las obras.

Se parte por tanto de la situación financiera actual de la ASADA considerando únicamente la operación del acueducto. Se observa a continuación, un resumen del flujo de caja de la ASADA comparando los 2 últimos años de operación 2019 y 2020.

Tabla 73. Estados financieros de la ASADA y de la operación del acueducto mostrando el flujo neto comparando los dos últimos años completos (año 2020 de la pandemia)

Concepto	Año 2019	Año 2020	Variación
Ingresos netos	€613.847.294	€535.954.082	-13%
Gastos de operación	€96.019.956	€140.694.064	47%
Gastos administrativos	€72.243.259	€43.902.882	-39%
Total Gastos de operación	€168.263.215	€184.596.945	10%
Utilidad de operaciones	€445.584.079	€351.357.136	-21%
Otros ingresos	€-	€490.801	
Gastos financieros	€6.643.880	€9.769.804	
Flujo neto caja	€438.940.200	€341.096.531	-22%

Se observa en primer lugar el impacto de la pandemia en donde los ingresos por concepto de tarifas disminuyeron un 13%, decayó asimismo la utilidad de operaciones y el flujo neto cayó en cifras cercanas al 22%. Según se vio el consumo de agua potable decayó en el 2020 con respecto al 2019, antes de la pandemia, en un 20,3% producto del cese casi total de la actividad turística y del consumo de la población flotante. Esto afectó la operativa y flujo de caja.

En general, no obstante, este fuerte impacto de la pandemia, la situación de la ASADA se mantuvo financieramente sana y equilibrada, reflejando un buen manejo administrativo y operativo. Esto acorde a sus estados financieros para esos 2 años.

Esto se refleja en el hecho de que, además del flujo de caja, la empresa muestra una utilidad neta positiva en 2019 e incluso en el 2020 a pesar de la pandemia en donde

las utilidades cayeron en un 30%, no obstante, continuó generando rentabilidad. Se resume este resultado a continuación. La empresa por ser de servicio público no paga impuesto sobre la renta.

Tabla 74. Utilidad neta de la ASADA y de la operación del acueducto mostrando sus utilidades comparando los dos últimos años completos (año 2020 de la pandemia)

Concepto	Año 2019	Año 2020	Variación
Utilidad neta del período	€404.665.983	€282.014.033	-30%
En US\$	€634.273	€442.028	

Bajo este contexto es que la ASADA recibirá la nueva operación del servicio de alcantarillado con su nuevo nivel de ingreso, pero también con los costos administrativos y operativos y especialmente del nuevo servicio de la deuda.

Se indica a su vez que la ASADA no presenta, de anteriores operaciones, un nivel de endeudamiento significativo. Los gastos financieros, reflejo del servicio de la deuda, representan un valor que no excede el 2% de los ingresos totales. Se muestra en el cuadro a continuación comparando los dos años completos 2019 y 2020.

Tabla 75. Niveles de deuda de la ASADA de la operación actual del acueducto mostrando los dos últimos dos años completos.

Concepto	Año 2019	Año 2020	Variación
Ingresos netos	€613.847.294	€535.954.082	-13%
Gastos financieros	€6.643.880	\$9.769.803	47%
% del servicio de deuda sobre ingresos netos	1,1%	1,8%	

## Sensibilización y escenario de viabilidad del proyecto

Una vez obtenido el escenario base para la alternativa de menor costo de inversión y de menor VPN (de sus costos de O&M), se identifican los parámetros de ingreso y costo que generan mayor impacto en los valores de rentabilidad del proyecto y

particularmente en su capacidad de pago.

Se presentan los resultados de la sensibilización con los parámetros de inversión total, contemplando participación con aporte de capital y por otra parte incrementando la tarifa. Este segundo aspecto se considera muy limitado por la disposición a pagar reflejada en la encuesta aplicada a la población.

No es factible por la situación socioeconómica de la mayor parte de la población del área que sería servida por el alcantarillado, que pueda darse un incremento tarifario mayor a un 10% de la tarifa asumida y proyectada.

También se sensibilizan los resultados en términos de reducción porcentual de la deuda en función de un hipotético aporte gubernamental al proyecto sin costo para la ASADA -fondos no reembolsables- o bien la alternativa que sería la creación de una sociedad de servicio público con participación de la ASADA APP y un socio que aporte capital accionario a esta nueva sociedad, creada exclusivamente para el manejo del sistema de alcantarillado sanitario. Estas figuras existen en los servicios públicos como sería el caso de la ESPH en Heredia o a la JASEC en Cartago. Ver en la Tabla a continuación los resultados de la sensibilización.

Tabla 76. Resultados de sensibilización para el nuevo proyecto de alcantarillado.

Resultado / Sensibilización	Escenario base	Combinado	Aporte de capital ó aporte gubernamental de un:			
		70% aporte capital +10% tarifa	40%	50%	60%	70%
VPN	(€8.791.006.585)	(€898.467.846)	(€4.597.594.786)	(€3.549.241.838)	(€2.500.888.888)	(€1.452.535.939)
TIR	-4,4%	10,19%	-0,4%	1,3%	3,4%	6,5%
Cuota anual Ptmo.	(€643.868.498)	(€57.948.165)	(€231.792.659)	(€160.967.125)	(€103.018.960)	(€57.948.165)
Flujo neto anual Asada despues de pagar amortización ptmo.	(€405.880.980)	€261.842.977	€6.194.859	€77.020.394	€134.968.559	€180.039.354
B/C	0,33	0,79	0,48	0,54	0,62	0,72

Se observa en la tabla los resultados de las diferentes corridas en el modelo financiero. Variando el aporte de capital hasta 70%. También se varía la tarifa hasta un 10% porque un valor superior no es viable.

Finalmente se establece un escenario ideal con una participación de capital o aporte gubernamental al proyecto hasta de un 70% con un incremento de hasta un 10% en la tarifa. En esta condición el proyecto desde el punto de vista de rentabilidad se acerca al punto de equilibrio y lo más importante le permitiría a la ASADA cubrir sin problemas el servicio de su deuda y generar incluso un excedente de caja.

Se determina entonces que el proyecto necesariamente requiere de un aporte de capital sin costo, aunado a un financiamiento concesional para poder hacerle frente a la nueva inversión. Este aporte de capital podría implicar definir una estructura accionaria para el proyecto de alcantarillado sanitario.

El monto de estas acciones para la empresa de servicio público que opere el nuevo sistema de alcantarillado estará definido por los montos de inversión necesarios para ejecutar el proyecto.

Los ingresos y costos de esta nueva empresa, en la cual la ASADA La Fortuna tendría una participación mayoritaria de hasta el 51%, provendrían de los ingresos tarifarios por dicho servicio y por la operación de las nuevas instalaciones. Esta participación mayoritaria permitiría a la ASADA, seguir manteniendo el control de la nueva empresa y por ende de sus decisiones más relevantes. En este escenario la ASADA seguiría administrando el sistema de acueducto tal cual se da hoy.

Si esto no fuera legalmente posible o no se encontrará un socio idóneo y con capacidad para asumir estos montos de inversión del alcantarillado, como por ejemplo la ADIFORT, necesariamente la otra opción sería buscar un aporte gubernamental, sin costo para la ASADA, por hasta el 50 o 60% del monto de la inversión. El resto del monto de inversión sería cubierto con un préstamo concesional otorgado a la ASADA que le permita cubrir este servicio de la deuda u otros mecanismos que se proponen adelante.

## **Mecanismo de estructuración y financiamiento del Proyecto**

Considerando la importancia del proyecto para la ciudad de La Fortuna y su alto impacto sanitario y ambiental en la población y recursos de la zona, es muy importante indagar sobre las posibilidades de estructuración para darle la viabilidad financiera a efectos de cubrir los montos de inversión y a la vez posibilitar un flujo de caja financiero con excedentes que le permita cubrir el servicio de la deuda del financiamiento necesario para ejecutar el proyecto y luego administrarlo y operarlo satisfactoriamente.

Logrando, de este modo, la viabilidad financiera del proyecto en una situación en que la ASADA no tendría, vía tarifas de alcantarillado, la capacidad de pago para cubrir el servicio de la deuda del proyecto si se considerara que los recursos provinieran, en un 100%, de un financiamiento para atender las obras de inversión.

De acuerdo con la opinión de una ejecutiva del AyA del sector, con conocimiento tanto del sector de saneamiento como del tema ASADAS, dicha institución no cuenta con fondos disponibles para financiar este proyecto en una ASADA, pero a la vez contribuye indicando algunas ideas sobre posibles oportunidades de financiamiento que se indican a continuación:

- a) INDER.
- b) Tarifa Ambiental (que debe ser aprobada por ARESEP).
- c) Establecer un fondo donde los turistas puedan hacer donaciones para el proyecto (por ejemplo, cobrar \$1 como parte de la entrada a la Catarata de La Fortuna).
- d) Donación de la Asociación de Desarrollo Integral de la Fortuna ADIFORT.
- e) Aporte del Gobierno (debe ser aprobado por el Ministerio de Hacienda).
- f) Alianza Público Privada.
- g) Otros aportes recurriendo a fundaciones internacionales, fondos especiales en el tema ambiental o cambio climático en organismos internacionales u aportes de gobiernos amigos interesados en promover los temas de saneamiento.

Probablemente y según se verá, se requerirá una estructuración de financiamiento que comprenda varias de las opciones anteriores. Tanto la opción a) INDER u otro aporte gubernamental, opción e), requerirá de las debidas gestiones ante las nuevas autoridades después de la toma de posesión del nuevo gobierno a partir de mayo de 2022. Esta posibilidad se considera y queda abierta a una gestión y negociación ulterior.

La opción e) de una alianza público-privada APP se considera una opción viable y relevante siempre y cuando se detecte un interés de otro ente, además de la ASADA, en participar, aportando y arriesgando, un capital para constituir una empresa mixta y participar en el fondeo y operación y mantenimiento del proyecto.

Con respecto a la Tarifa ambiental no presenta viabilidad dado que, según la encuesta efectuada a una muestra de la población de la Fortuna, la disposición a pagar es limitada. Es decir, existe una mayoría dispuesta a pagar por el sistema de alcantarillado, pero no mayor a lo que se paga actualmente por el servicio de agua potable.

Se plantea entonces un esquema que incluye una combinación de parte de los mecanismos anteriores a saber.

Financiamiento con préstamo en condiciones concesionales con un tope de hasta el 40% de la inversión total. US\$7,0 millones considerando inversión directa e indirecta.
Aporte gubernamental sin costo para el proyecto en monto a definir.
Constitución de una sociedad público privada con un aporte de capital del nuevo socio y su reflejo accionario. Socio potencial ADIFORT.

Adicionalmente se considera importante plantear un cobro adicional, no voluntario, en la tarifa de ingreso a los turistas al Parque Nacional La Catarata, cuyo fin es constituir un fondo que coadyuve a cubrir el servicio de la deuda del nuevo financiamiento. Actualmente la tarifa de ingreso para los turistas extranjeros o no residentes es de US\$18,0 por persona. Para los nacionales al tipo de cambio actual implicaría aproximadamente US\$9,0.

La propuesta sería aumentar la tarifa de ingreso al parque US\$2,0 para los visitantes extranjeros y de US\$1,0 para los nacionales, con un fondo que empezaría a constituirse, tan pronto fuera posible y previo a la ejecución del proyecto, cuyo fin sería exclusivamente cubrir el servicio de la deuda del nuevo proyecto, una vez inicie operación. En este escenario, los ingresos esperados para este fondo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 77. Propuesta de ingresos para cubrir parte del servicio de la deuda

Tarifas parque nacional Catarata	Extranjeros	Adultos nacionales	Total visitantes o ingresos
Actual	\$18,00	\$9,00	
Composiciones visitantes estimados anuales	90%	10%	
# visitantes estimados anuales	180.000	20.000	200.000
Ingresos anuales	\$3.240.000,00	\$180.000,00	\$3.420.000,00

Tarifas parque nacional Catarata	Extranjeros	Adultos nacionales	Total visitantes o ingresos
Ingresos adicionales para fondo de deuda	\$360.000,00	\$20.000,00	\$380.000,00
Aumento propuesto	US\$2 / visitante	US\$1 / visitante	

Si se puede implementar esta propuesta se podría cubrir una parte importante del servicio de la deuda generada por el proyecto probablemente más del 50% dependiendo de la estructuración financiera. Este escenario permitiría generar rentabilidad para el proyecto e inducir a algún inversionista privado o la misma ADIFORT a entrar en la nueva empresa encargada de administrar el proyecto.

### Asociaciones público-privadas

Los contratos de Asociaciones Público-Privadas APP, combinan las capacidades y los recursos de los sectores público y privado de manera que se comparten riesgos y responsabilidades. De acuerdo con el documento del BID <sup>15</sup> relativo al tema, los esquemas contractuales de APP son una herramienta práctica para la prestación del servicio de Agua y Saneamiento, toda vez que permiten promover la recepción de inversiones e incorporar conocimientos técnicos y gerenciales.

En este sentido, indica el BID, son una alternativa para poder implementar estrategias de reforma sectorial y abordar los retos clave para progresar hacia un acceso universal y sostenible del servicio. El BID define una APP como “un contrato a largo plazo entre una parte privada y una entidad pública, para brindar un activo o servicio público, en el que la parte privada asume un riesgo importante y la responsabilidad de la gestión, y la remuneración está vinculada al desempeño”.

Aun cuando estos contratos APP buscan propósitos múltiples en este caso, a pesar de que la ASADA tiene una organización y capacidad instalada adecuada para la administración y operación de este tipo de proyectos, la misma no cuenta con los recursos de inversión necesarios para la ejecución de las obras correspondientes al proyecto de alcantarillado sanitario y la PTAR.

Por lo anterior, y complementariamente al financiamiento tradicional, se valora la posibilidad de constituir una APP para financiar, con capital accionario este proyecto. Adicionalmente a los fondos de inversión se considera importante incorporar un

<sup>15</sup> “Asociaciones público-privadas en el sector de agua y saneamiento en América Latina. GERÓNIMO FRIGERIO Y MAGALÍ GÓMEZ KORT. BID

componente de fortalecimiento institucional con el apoyo técnico particularmente para la operación de la futura PTAR.

Este componente de fortalecimiento institucional se deberá dar en las áreas relacionadas con la administración en su conjunto, tanto del sistema de agua potable como el nuevo alcantarillado, y en el componente técnico para la operación y mantenimiento de las nuevas instalaciones.

En el caso de Costa Rica, como marco regulatorio y normativa para este tipo de asociaciones, existe el denominado Reglamento para el desarrollo, fomento y gestión de las alianzas público-privadas para el desarrollo en el sector público, según decreto N° 40933 - MEIC - MIDEPLAN del 20 de marzo de 2018. El mismo rige en este caso y condicionará la nueva empresa a constituir.

En el momento de estructurar una alianza y después de identificar posibles socios con la capacidad financiera, se deberán establecer claramente las condiciones para los participantes, definiendo los objetivos y metas de la iniciativa, los recursos y aportes que hacen las partes, los mecanismos de toma de decisiones, así como de evaluación y de resolución de conflictos, la duración de la alianza, entre otros para lo cual se suscribirá un convenio entre las partes.

Se establecen a continuación las actividades prioritarias a ser atendidas para la constitución de la nueva empresa de alcantarillado y todo lo necesario para llevar a buen éxito el proyecto y su ulterior operación.

- a. Establecimiento de políticas y normativa para la nueva empresa.
- b. Búsqueda de socio capitalista interesado y con capacidad para realizar aportes en el proyecto que se contabilizan como acciones en la nueva empresa.
- c. Previo a materializar la alianza, las partes involucradas expresarán claramente su visión inicial sobre las causas y dinámicas del problema a superar, la razón para resolverlo y los posibles mecanismos de solución. En esta etapa los socios en conjunto definen los objetivos, metas y plazos para alcanzar los fines de la alianza, a partir de la propuesta preliminar mencionada que incluya la definición de funciones y roles entre las partes.
- d. Es fundamental llevar a cabo una identificación de los recursos disponibles para cada una de las partes participantes de la APP, tanto del sector público como del sector privado.
- e. Las partes establecerán un plan de trabajo, con los procedimientos necesarios y el cronograma de ejecución que defina: entregables, actividades, responsables y

- plazos; a fin de contribuir a los objetivos de la alianza y fortalecer la implementación de la APP. La alianza deberá ejecutar este plan de trabajo de acuerdo con los recursos y tiempos establecidos en la etapa de mapeo o identificación de recursos.
- f. En lo relativo a los recursos, cada una de las partes de la APP debe detallar los aportes definidos, montos y condiciones de cada recurso del proceso, en qué cantidad lo aportará y en qué plazo, para determinar los costos finales estimados de la alianza. En función de los participantes en esta nueva sociedad, grado de participación y aportes se definirá la participación porcentual de cada uno en el capital accionario de la nueva empresa, buscando que la ASADA La Fortuna conserve al menos el 51% del capital para la primacía en lo toma de decisiones en caso de desacuerdos.
  - g. La identificación de estos recursos debe generar un inventario que permita determinar los posibles recursos financieros, técnicos y materiales, y otros insumos como recursos humanos, y todo lo necesario para la operación y mantenimiento de la APP.
  - h. Se procede a constituir contractualmente la APP, procediendo a su creación y estableciendo toda la logística para ubicar esta empresa de alcantarillado dentro de las instalaciones actuales de la ASADA, y contratar el recurso humano adicional requerido.
  - i. Lo anterior puede requerir fortalecer al aparato administrativo, comercial y contable de la ASADA para atender a los nuevos usuarios del sistema, así como contratar el personal técnico adicional para el mantenimiento de la red de recolección y de la PTAR.
  - j. Complementariamente a lo anterior y concretando el aporte del socio como capital semilla accionario, se procede liderado por la ASADA, con la gestión de financiamiento, sea aporte gubernamental y préstamo concesional. Con ello allegando todos los recursos que permitan desarrollar el proyecto.

En paralelo a lo anterior se deben finalizar de los diseños finales del proyecto y luego proceder con la contratación y ejecución de las obras del proyecto. Se efectúa la contratación del personal adicional y las pruebas preoperativas para la recepción final de las obras. Se debe incluir como actividad importante un plan de fortalecimiento institucional para la O&M del nuevo sistema.

La alianza debe desarrollar políticas de comunicación internas y estrategias de comunicación con grupos de interés que contribuyan a la transparencia y rendición de cuentas de la alianza. Los socios elaborarán una estrategia de comunicación interna que

incluye, al menos, los canales y periodicidad de la comunicación.

De la misma forma, también podrá realizar una estrategia de comunicación externa que incluye: objetivo de la comunicación, mensajes clave, periodicidad, público meta y canales de comunicación. La alianza realizará la evaluación de los avances del plan de trabajo y sus resultados, y el grado de satisfacción de los socios y finalmente la percepción de los usuarios del alcantarillado.

Los informes de seguimiento deben llevarse a cabo al menos cada seis meses con la presentación de un informe de resultados para los socios y grupos de interés, a para medir el grado de avance de los objetivos planteados para la alianza y efectuar ajustes en forma oportuna. Para ello los socios de la alianza definirán los indicadores como herramienta de gestión que mida el grado de avance de la iniciativa respecto a sus objetivos. Para ello, los socios deberán desarrollar indicadores con el fin de medir los resultados y el grado de satisfacción de los socios de la alianza. Esto incluye tanto la etapa de ejecución del proyecto como de su operación y mantenimiento.

#### **5.2.14. Tarifa luego de los escenarios de sensibilización**

Dentro del análisis de sensibilización del proyecto, en forma complementaria, se busca determinar si el mismo se puede financiar exclusivamente con la tarifa base derivada el nuevo servicio, partiendo de que las obras son financiadas con un préstamo en condiciones concesionales, pero que siempre implica un repago del principal y un costo financiero.

Dado que, según se observó en todo el análisis anterior, bajo el esquema de la tarifa base considerada, éste no sería viable, dado que la ASADA no tendría capacidad financiera para cubrir el servicio de esta nueva deuda. Por lo que se analizan otros escenarios para observar la sensibilización de la tarifa ante diferentes condiciones de proyecto, con PTAR y sin PTAR y también, en cada uno de estos casos, si se cubren los costos totales (costos directos CD e indirectos CI) o bien si se consideran solo los costos directos, que usualmente son los financiables por las diferentes entidades en sus políticas de crédito.

A lo enunciado, se agrega otra variable más, si el proyecto se financia en un 100% (con préstamo concesional) o en diferentes porcentajes menores, esto es, supuesto que el diferencial no cubierto por el préstamo se atendería con otras fuentes ya mencionadas anteriormente: a) creación de una APP allegando con algún socio capitalista capital accionario para la nueva sociedad a ser creada con la participación de la ASADA, b) con recursos sin costo, donación, sea con aporte dentro del presupuesto gubernamental u

otras fuentes internacionales que puedan donar parcialmente recursos para este fin.

Sensibilizando los parámetros anteriores en función de su efecto en la tarifa base, que según se mencionó en otros apartes era de \$0,618 ó ¢414,27, como tarifa actual promedio de todas las categorías y rangos de consumo, se obtiene la Tabla siguiente.

Tabla 78. Escenarios de tarifa según condiciones de préstamo y aportes al proyecto.

Escenario	Inversión	Tarifa 100% financiado	% Tarifa base	% Tarifa sobre base		
				30% ptmo./70% otros aportes sin costo	50% ptmo./50% otros aportes sin costo	75% ptmo./25% otros aportes sin costo
Con PTAR Inversion total CD + CI	\$23.292.230	\$1,323	214%	104%	123%	152%
Sin PTAR Inversion total CD + CI	\$10.537.633	\$0,730	118%	95%	99%	105%
Con PTAR Solo Costos Directos	\$18.835.980	\$1,063	172%	100%	113%	132%
Sin PTAR Solo Costos Directos	\$8.521.582	\$0,680	110%	94%	97%	102%

Se observa, lo ya apuntado, que el proyecto no podría ser financiado en un 100% con un préstamo ya que la ASADA no tendría capacidad de pago para asumirlo y, dependiendo del escenario, la tarifa base tendría que estar entre el 110% (1,1 veces la tarifa base) desarrollando el proyecto sin la PTAR, hasta un 214% (2,14 veces la tarifa base) con el proyecto completo.

Al variar a su vez los montos a ser financiados, del 30% al 75% con préstamo y el complemento con las otras otras fuentes mencionadas, se observan los resultados en la Tabla 78. Bajo el esquema tarifario actual, cubriendo solo los costos directos del proyecto completo, con redes y la PTAR, la ASADA podría asumir un financiamiento máximo del 30% de estas obras, y el diferencial con las otras fuentes sin costo.

### 5.3. Análisis con colectores fuera área de protección

Adicionalmente se complementa el análisis financiero con una variante técnica que consiste en el trazado de dos de los colectores que se sacaron de las respectivas áreas de protección de los cauces. Al norte el colector de la Quebrada Danta y al Sur el colector que sigue el cauce del Río Burío.

La razón de considerar esta subalternativa técnica consiste en que el trazo de estos dos colectores siguiendo el cauce de los ríos dentro de sus áreas de protección, requiere de una declaratoria del proyecto como de interés nacional. Este trámite puede ser largo y complejo e implica incluso una aprobación directa del poder ejecutivo (Presidencia de la República de Costa Rica). Además, implica realizar un plan de compensación, y otros estudios para obtener el permiso.

Por ello se visualiza siempre mantener el trazado de estos 2 colectores por gravedad y siguiendo el cauce de los ríos, pero fuera de sus áreas de protección, con lo cual se evita este trámite de declaratoria que podría ser complicado y tomar mucho tiempo atrasando eventualmente el resto de la tramitología y ejecución del proyecto.

Adicionalmente al sacarse estos colectores del cauce se evitarían una serie de obras de protección contra deslizamientos y avenidas en los ríos las cuales se contemplaron en el presupuesto base con un monto estimado en US\$1,9 millones. Gran parte de este costo sería evitado si los colectores se sacan de las márgenes de los cauces. Como contraparte a esto se requeriría una mayor inversión y tiempo en la adquisición de las nuevas servidumbres a constituir en las fincas y propiedades cercanas a los cauces, pero fuera del área de protección.

Por todas estas consideraciones, positivas y negativas para cada alternativa, se analizó la conveniencia de estudiar ambos escenarios desde el punto de vista de costo, pero a la vez considerando la duración y complejidad en los trámites. El resto de los componentes del proyecto quedaría sin cambios.

Entonces se tienen estas dos opciones. La analizada hasta ahora con los colectores dentro del área de protección de los dos cauces. A esta se le denomina Opción 1. La presentada a continuación con los colectores fuera de las áreas de protección que se denomina Opción 2.

Como un primer criterio de comparación se presentan ambas, en esta Tabla, con sus principales factores de diferenciación.

Tabla 79. Algunos parámetros comparativos entre ambas opciones de los colectores.

Parámetros para comparación	Opción 2 Colectores fuera zona de protección	Opción 1 Colectores dentro de zona de protección	Diferencia	%
Longitudes de tubería (redes +colectores)	31.072 Km	32.698 Km	1.626	-5,2%
Costo servidumbres	€511.182.720	€47.058.560	€464.124.160	90,8%

Costo por protección de colectores en laderas	€0	€1.266.688.000	€1.266.688.000	
Costo total de la opción	€5.157.747.403	€5.709.461.264	€551.713.861	-10,7%

La Opción 2 presenta las menores longitudes de tubería, un 5,2% menos que la opción 1.

En la Opción 2, al retirarse los colectores fuera de la zona de protección, implica un mayor costo por concepto de la adquisición de servidumbres, un 90,8% mayor, con respecto a la Opción 1.

No obstante, el punto anterior la gran diferencia en costos se establece en que, en la Opción 2 no se requieren las obras de protección de la tubería en los cauces de los 2 ríos.

Al final desde el punto estrictamente del costo global, la Opción 2 implica un costo 10,7% menor que la Opción 1.

Desde el punto de vista de la tramitación en la Opción 2 se requiere el tiempo para la adquisición de las servidumbres por las fincas donde discurrirá el trazado de ambos colectores.

Al tanto para la Opción 1 se requiere la tramitación, que puede ser larga y compleja, para lograr una declaratoria del proyecto de alcantarillado como de interés nacional, lo cual al final implica la aprobación por parte del poder ejecutivo.

### 5.3.1. Presupuesto considerando esta Opción 2

Se presenta a continuación los costos directos e indirectos estimados para la Opción 2, incluyendo también los otros componentes del proyecto, a saber, no solo redes y colectores sino también la PTAR y elementos asociados. Esta Opción 2 tiene un costo total de US\$17,7 millones de los cuales el 81% aproximadamente es costo directo y 19% corresponden a costos indirectos.

Tabla 80. Costos del Proyecto Opción 2 PTAR + colectores fuera de las áreas de protección

RUBRO	TOTAL	Aportes de capital / otras fuentes	Financiamiento concesional
<b>Costos Directos</b>			
<b>Red de alcantarillado sanitario</b>	\$6.935.171	\$4.622.292	\$2.312.880
<b>Servidumbres colectores</b>	\$762.959	\$762.959	\$0
<b>Protección de laderas en colectores en ríos</b>	\$0	\$0	\$0
<b>Planta de Tratamiento</b>	\$10.314.398	\$6.874.547	\$3.439.852
<b>Total costo directo</b>	\$18.012.529	\$12.259.797	\$5.752.731
<b>Costos Indirectos</b>		<b>68%</b>	<b>32%</b>
<b>Estudio de Factibilidad</b>	\$100.000	\$100.000	\$0
<b>Diseño final e inspección</b>	\$1.260.877	\$1.260.877	\$0
<b>Imprevistos</b>	\$540.376	\$540.376	\$0
<b>Escalamiento</b>	\$920.573	\$920.573	\$0

RUBRO	TOTAL	Aportes de capital / otras fuentes	Financiamiento concesional
Utilidad contratista	\$1.441.002	\$1.441.002	\$0
Total costo indirecto	\$4.262.828	\$4.262.828	\$0
<b>TOTAL PROYECTO</b>	<b>\$22.275.357</b>	<b>\$16.522.626</b>	<b>\$5.752.731</b>
%		<b>74%</b>	<b>26%</b>

Para visualizar las diferencias entre las opciones 1 y 2 desde el punto de vista de sus presupuestos de inversión se presenta la Tabla siguiente.

Tabla 81. Comparación entre Opciones.

Rubro	Costo Opción 2	Costo Opción 1	Diferencia en monto US\$	%
<b>Costos Directos</b>				
Red de alcantarillado sanitario	\$6.935.171	\$6.560.766	\$374.405	5,4%
Servidumbres colectores	\$762.959	\$70.237	\$692.723	90,8%
Protección de laderas en colectores en ríos	\$0	\$1.890.579	-\$1.890.579	-100,0%
Planta de Tratamiento	\$10.314.398	\$10.314.398	\$0	0,0%
<b>Total costo directo</b>	<b>\$18.012.529</b>	<b>\$18.835.980</b>	<b>-\$823.451</b>	<b>-4,6%</b>

Rubro	Costo Opción 2	Costo Opción 1	Diferencia en monto US\$	%
<b>Costos Indirectos</b>				
Estudio de Factibilidad	\$100.000	\$100.000	\$0	0,0%
Diseño final e inspección	\$1.260.877	\$1.318.519	-\$57.642	-4,6%
Imprevistos	\$540.376	\$565.079	-\$24.704	-4,6%
Escalamiento	\$920.573	\$964.664	-\$44.091	-4,8%
Utilidad contratista	\$1.441.002	\$1.506.878	-\$65.876	-4,6%
<b>Total costo indirecto</b>	<b>\$4.262.828</b>	<b>\$4.455.141</b>	<b>-\$192.312</b>	<b>-4,5%</b>
<b>TOTAL PROYECTO</b>	<b>\$22.275.357</b>	<b>\$23.291.121</b>	<b>-\$1.015.764</b>	<b>-4,6%</b>

La opción 2 sacando los colectores de la zona de protección de los cauces implica un ahorro de 4,6% y US\$1,0 millón de menos en el monto total. A la vez reduce significativamente el riesgo por avenidas y deslizamientos al estar fuera de los cauces.

### 5.3.2. Flujo de caja para esta Opción 2

Se presentan los resultados proyectados y se genera el flujo de caja para la opción 2 considerando los ingresos vía tarifa, las inversiones en la PTAR y en las redes y colectores, los costos de O&M tanto de plantas como de redes y finalmente se obtiene el flujo neto. Se presenta en la Tabla a continuación.

Tabla 82. Flujo de Caja proyectado con Opción 2 en colectores, fuera de zona de protección. Parte 1

Concepto	2023	2024	2025	2026	2027
	1	2	3	4	5
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>					
Ingresos vía tarifa			€743.669.302	€801.834.034	€860.612.471
Otros ingresos			€74.366.930	€80.183.403	€86.061.247
Ingreso total sistema alcantarillado	€0		€818.036.232	€882.017.438	€946.673.719
<b>INVERSIONES (-)</b>					
	<b>€7.567.721.858</b>	<b>€4.525.055.953</b>			
<b>Red de alcantarillado sanitario</b>	<b>€3.338.509.350</b>	<b>€1.888.085.730</b>			
<b>Tuberías, pozos, accesorios -todos los diámetros</b>	<b>€2.899.985.195</b>	<b>€1.601.547.718</b>			
Equipo de bombeo, casetas, cárcamo y accesorios	€130.137.860	€79.823.262			
Total redes recolección	€3.030.123.055	€1.681.370.980			
<b>Servidumbres colectores</b>	<b>€308.386.295</b>	<b>€206.714.750</b>			
Protecciones colectores en márgenes de ríos	€0	€0			
<b>Total redes con servidumbres y protecciones</b>	<b>€3.338.509.350</b>	<b>€1.888.085.730</b>			
<b>Planta de Tratamiento de aguas residuales</b>					
Pretratamiento	€610.927.133	€317.577.205			
Tratamiento Primario (tanque homogenización)	€349.235.461	€223.349.939			



Concepto	2023	2024	2025	2026	2027
	1	2	3	4	5
Tratamiento Secundario UASB	€519.543.922	€350.678.571			
Tratamiento Secundario (Filtro Aerobio)	€906.741.298	€563.325.116			
Tratamiento Secundario (Sedimentador secundario)	€386.817.361	€256.817.882			
Tratamiento Secundario (lechos de secado)	€372.393.917	€256.080.173			
Tratamiento terciario (Desinfeccion)	€243.699.878	€127.603.293			
Tratamiento biogas	€141.949.217	€74.460.442			
Obras complementarias	€673.144.546	€450.041.667			
Emisario descarga efluente tratado	€24.759.773	€17.035.934			
<b>Total PTAR</b>	<b>€4.229.212.508</b>	<b>€2.636.970.223</b>			

Tabla 83. Flujo de Caja proyectado O&M con Opción 2 en colectores, fuera de zona de protección. Parte 2

Concepto	2032	2037	2042	2047	2052
	10	15	20	25	30
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>					
Ingresos vía tarifa	€1.040.304.040	€1.197.520.353	€1.334.687.568	€1.478.521.175	€1.630.021.845
Otros ingresos	€104.030.404	€119.752.035	€133.468.757	€147.852.117	€163.002.184
Ingreso total sistema alcantarillado	€1.144.334.445	€1.317.272.389	€1.468.156.325	€1.626.373.292	€1.793.024.029
<b>COSTOS DE O&amp;M</b>					
<b>Total O&amp;M redes recolección</b>	€51.015.099	€63.194.847	€78.561.965	€97.985.785	€122.576.816
<b>Total O&amp;M PTAR</b>	€704.349.424	€884.204.481	€1.112.395.008	€1.402.224.426	€1.770.696.946
<b>Total costos de O&amp;M sistema alcantarillado</b>	€755.364.522	€947.399.328	€1.190.956.973	€1.500.210.211	€1.893.273.763
<b>FLUJO FINANCIERO NETO - EBIDTA-</b>	€388.969.922	€369.873.061	€277.199.351	€126.163.081	-€100.249.733
<b>FLUJO NETO ANTES DE PTMOS</b>	€388.969.922	€369.873.061	€277.199.351	€126.163.081	-€100.249.733

### 5.3.3. Resultados rentabilidad Opción 2

Se muestran los resultados para la Opción 2 que incluye los montos totales del proyecto. La rentabilidad no es favorable similar a la de la Opción 1 por lo que aplican las mismas consideraciones para disminuir significativamente los recursos con costo y efectuar una estructuración de capital con la figura de una APP según se discutió ampliamente en los apartados precedentes.

Tabla 84. Resultados rentabilidad Opción 2

Resultados rentabilidad financiera / económica Opción 2 Colectores fuera de área protección		
VPN inversion total	-∅8.345.947.172	-\$12.456.638
TIR inversion total	-4,10%	
<b>Con efecto de financiamiento</b>		
VPN inversionista	-∅1.902.902.905	-\$2.840.154
TIR inversionista	ND	0,0%
B/C	0,35	
Resultados Económicos		
VPN ECONOMICO	-∅1.990.757	-\$2.971
TIR ECONOMICA	6,24%	
TSD	8,31% <sup>16</sup>	

<sup>16</sup> Referencia: MIDEPAN, 2019. Precios sociales - Guía para su aplicación AINVP/UIP.

## 6. Análisis Económico y Social

### 6.1. Análisis Económico

Al tanto el análisis financiero consideró el flujo de beneficios y costos del proyecto desde el punto de vista de los interesados, en este caso del promotor y dueño del mismo, la ASADA La Fortuna, el análisis económico distribuye los efectos positivos y negativos del proyecto entre toda la población, tanto de la directamente beneficiada, como en general del país en su conjunto en términos de impuestos, subsidios, transferencias, tipo de cambio entre otros.

Los principios contables y financieros no son suficientes para la realización económica de un proyecto. El método para evaluar los beneficios y costos económicos se basa en la información obtenida del análisis financiero, pero además utiliza los parámetros y principios económicos obtenidos tanto de otros proyectos de servicio público como los utilizados en el campo de la economía aplicada.

Los precios sociales son aplicados en la evaluación económica a partir de los factores de conversión, que también son denominados factores de corrección. Estos precios representan el verdadero costo de oportunidad para la sociedad de los bienes, servicios y recursos que serían utilizados o producidos por el proyecto objeto de análisis. Las distorsiones, que son la causa de que los valores financieros y económicos difieran, se identifican y miden en el contexto de la demanda y oferta de mercado de un bien o producto.

Por medio de la aplicación de estos precios sociales, se pretende eliminar los efectos de distorsiones existentes en los mercados. Para obtener estos factores de corrección se recurrió en buena medida, más no exclusivamente al estudio y base de datos desarrollada por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) denominado "Metodología sobre el cálculo de precios sociales para el análisis económico de proyectos de Inversión Pública en Costa Rica".

A raíz de este documento y la base de datos asociada, se obtuvieron los valores de precios sociales para el precio sombra del capital o tasa social de descuento, razón del precio sombra de la divisa y factor estándar de conversión, precio sombra de los bienes transables y no transables y precio sombra de la mano de obra desglosada según

categoría (calificada alta, media y no calificada) según fueran aplicables al proyecto de Alcantarillado de La Fortuna.

También otros factores de corrección o precios sombra se tomaron de otros proyectos de infraestructura pública desarrollados por el BCIE y del documento del AyA y MIDEPLAN denominado "Guía Metodológica de Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Acueducto y Alcantarillado Sanitario en Costa Rica" de abril 2012.

A partir de la aplicación de los precios sociales se realiza entonces un análisis complementario al análisis financiero y de costos, lo que permite incorporar criterios de beneficio social e impacto a nivel macroeconómico del país, para efectuar la evaluación económico-social del proyecto de alcantarillado de La Fortuna.

En el caso de inversiones de tipo público y de servicios como el presente proyecto de Alcantarillado, es de importancia que el mismo, idealmente, no solamente resultara rentable desde un punto de vista financiero, sino que presente aportes significativos para la sociedad, en este caso en los temas de saneamiento y externalidades ambientales positivas.

Ciertos proyectos de interés social no cumplen con la rentabilidad financiera mínima, como sería este el caso, pero son básicos para solventar necesidades que generen un mayor bienestar y equilibrio en la sociedad. En este sentido la evaluación económica-social permite efectuar una priorización de alternativas de proyecto de acuerdo con su valor social.

## **6.2. Metodología y parámetros del análisis económico**

Para convertir precios de mercado a precios sociales, se identificaron, cuantificaron y valoraron los costos que genera el proyecto según ha sido presentado en los acápite precedentes en este documento, partiendo de los valores de mercado disponibles en el flujo financiero.

Es decir, el valor social o precio económico es el precio financiero o de mercado por el factor de conversión correspondiente. El documento denominado Precios Sociales, elaborado por la Unidad de Inversiones Públicas del Área de Inversiones de MIDEPLAN presenta una base de datos en Excel con los valores de precios sociales para Costa Rica para el caso de los bienes transables y bienes no transables.

Si el valor del bien transable está expresado en moneda nacional (colones), para obtener el precio social del bien, se toma el valor del bien y se multiplica por el factor específico ubicado en la hoja de Excel de MIDEPLAN denominada "Valores de mercado" (columnas AM, AP, AS y AV) según corresponda (importable, exportable, sustitución de importaciones o sustituto de exportaciones). Para determinar la columna que se debe utilizar, se deberá analizar el impacto que tengan en el mercado los insumos requeridos o los bienes o servicios que produzca el proyecto.

En el caso de los bienes transables que no cuenten con información disponible en la base de datos de Excel, se toman los precios de frontera de los bienes, los cuales pueden estar en moneda nacional (¢: colones) o en moneda extranjera (\$: dólares). Si el valor del bien transable está expresado en moneda nacional (colones), como sería en nuestro caso, para obtener el precio social del bien, se toma el valor del bien y se multiplica por la razón del precio social de la divisa que ha sido calculado por MIDEPLAN con un valor de 1,06452.

Es decir, el precio social o valor económico del bien es el producto de bien en moneda nacional (precio financiero) multiplicado por 1,0645. Este factor se utiliza en el caso de bienes transables que no estén consignados en la base de MIDEPLAN o bien que no se cuente con otra fuente de información alterna.

Para el caso del ajuste de la Mano de Obra se utilizan los factores sindicados por MIDEPLAN. A los costos de mano de obra que incluyen las cargas sociales, se le descuentan los costos asociados (cargas sociales) y luego se le adicionan los beneficios. Ambos valores ya se encuentran definidos.

Para descontar los costos asociados a cargas sociales y otros costos, se debe tomar el valor de la mano de obra y dividirlo entre el valor de 1,4415. Luego, se debe agregar el valor de estas cargas sociales que es percibido como un beneficio por parte de los trabajadores, el cual se ha estimado en 1,2213 para la mano de obra calificada alta y de 1,3157 para las otras categorías, por lo cual se debe multiplicar el valor de la mano de obra una vez descontados los costos adicionales y multiplicarlo por estos valores de acuerdo con la categoría de la que se trate. Así se ajustan los valores de mano de obra generándose los valores económicos.

Una vez con estos y otros factores de conversión definidos se construye el flujo de caja económico a partir del flujo financiero.

Los valores del flujo financiero se deflactan, es decir se dividen entre el índice de inflación interna proyectado, y estos valores a su vez se multiplican por el factor de

conversión correspondiente. Esto nos genera los valores para construir el flujo económico.

Este flujo de caja económico permite ser descontado utilizando la Tasa Social de Descuento, Precio sombra de capital o tasa social de descuento (TSD)

El precio sombra del capital o tasa social de descuento (TSD) representa el costo en que incurre la sociedad cuando el sector público extrae recursos de la economía para financiar sus proyectos; es una tasa (valor porcentual) que refleja el grado en que una sociedad está dispuesta a posponer consumo presente a cambio de consumo futuro, con el fin de maximizar su bienestar social en ese horizonte temporal.

En este sentido la TSD, corresponde a la tasa que se utiliza para descontar los flujos de inversiones, costos y beneficios de la evaluación económica de proyectos, con el propósito de calcular los principales indicadores de rentabilidad social para apoyar el proceso de toma de decisiones sobre la aceptación o el rechazo de un proyecto, desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto.

La TSD calculada para Costa Rica corresponde a 8,31% (MIDEPLAN, 2019). Es importante aclarar que la TSD solo se usa para el análisis económico-social; por lo que no se debe confundir con la Tasa de retorno que se utiliza en el análisis financiero.

Se presenta en la Tabla a continuación algunos de los parámetros utilizados en el análisis económico y social.

Tabla 85. . Parámetros y Factores de Corrección para el análisis económico y social.

Parámetros Económicos		Referencia
Tasa Social Descuento TSD:	8,31%	MIDEPLAN, 2019
Precio social de la Divisa	1,0645	MIDEPLAN
Factor Estándar de Conversión FEC	0,9394	MIDEPLAN
MANO DE OBRA		
Calificada alta	0,9470	MIDEPLAN
Calificada	0,9710	MIDEPLAN
Media y No Calificada	0,9400	MIDEPLAN
BIENES TRANSABLES Y NO TRANSABLES		
BT y BNT	Dependiendo del bien	Según base de datos MIDEPLAN

Una vez aplicados los precios sociales para la elaboración del flujo económico, se actualizan todos los flujos anuales de acuerdo con la TSD mencionada para evaluar el proyecto y se calcula:

-Valor Actual Neto Económico (VANE).

-Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE),

-Relación beneficio/costo (B/C), entre otros criterios de evaluación usados en el análisis económico social.

### **6.3. Flujo económico y resultados**

Después de aplicar la metodología descrita y de pasar de los precios financieros y de Mercado a los precios sociales se obtiene el flujo económico.

Este flujo económico del proyecto se construye aplicando el factor de conversión partiendo del flujo de caja financiero

Que se tiene con inflación en colones y deflactándolo es decir dividiendo los valores inflados entre el índice de inflación interna según fue proyectado. Con esto lo que se obtiene es cada valor a precios de mercado deflactados. Estos valores se multiplican por el factor de conversión correspondiente y se obtiene el flujo económico según se presenta a continuación.

Tabla 86. Flujo Económico del Proyecto de Alcantarillado de Sanitario. Inversiones en Redes y Colectores. Cifras en colones.

CONCEPTO	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>	<b>1,097</b>	-	-	821.435.117	859.885.592	896.038.348
Menos :						
<b>EXIGIBILIDADES (-)</b>						
<b>INVERSIONES</b>						
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>		7.787.884.596	4.500.364.873	-		
<b>Red de Alcantarillado Sanitario</b>		3.669.682.849	2.047.429.630			
Tuberías - todos los diámetros-		2.776.659.965	1.474.536.017		-	-
Materiales y equipos Comp. Externo	1,140	1.589.932.202	681.791.631			
Materiales y equipos Comp. Local	0,939	280.910.113	187.650.380			
Construcción MO calificada	0,971	550.520.929	367.752.731			
Construcción MO no calificada	0,940	355.296.721	237.341.275			
<b>Equipo de bombeo, cárcamo y accesorios</b>		123.550.084	72.130.370			

CONCEPTO	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
Edificio Caseta - Planta de Emergencia- Fosos bombeo- tapia,- portones		75.049.653	48.203.257			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,130	8.071.216	3.461.083			
Materiales y equipos Comp. Local	0,770	18.867.497	12.603.651			
Construcción MO calificada	0,971	29.239.968	19.532.551			
Construcción MO no calificada	0,940	18.870.972	12.605.972			
<b>Sistema eléctrico baja tensión</b>		<b>31.683.739</b>	<b>15.639.867</b>			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,130	23.099.339	9.905.414			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	4.382.926	2.927.833			
Construcción MO calificada	0,971	2.553.493	1.705.755			
Construcción MO no calificada	0,940	1.647.980	1.100.865			
<b>Equipo de bombeo, cárcamo y accesorios</b>		16.816.692	8.287.246			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,150	12.318.418	5.282.360			



CONCEPTO	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	2.296.678	1.534.201			
Construcción MO calificada	0,971	1.338.045	893.825			
Construcción MO no calificada	0,940	863.551	576.860			

Tabla 87 Flujo Económico del Proyecto de PTAR para años seleccionados. Cifras en colones.

Concepto	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>	<b>1,097</b>	-	-	821.435.117	859.885.592	896.038.348
Menos :						
<b>EXIGIBILIDADES (-)</b>						
<b>INVERSIONES</b>						
<b>Planta de Tratamiento</b>		4.118.201.747	2.452.935.243			
<b>Pretratamiento</b>		651.927.613	323.122.818			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	469.794.650	201.456.427			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	43.094.562	28.787.540			
Construcción MO calificada	0,971	84.502.161	56.448.173			
Construcción MO no calificada	0,940	54.536.239	36.430.678			
<b>Tratamiento Primario tanque homogenización</b>		345.636.721	212.364.688			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	77.442.951	33.208.935			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	173.060.375	115.605.824			

Concepto	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
Construcción MO calificada	0,971	57.818.398	38.623.189			
Construcción MO no calificada	0,940	37.314.998	24.926.740			
<b>Tratamiento Secundario (UASB)</b>		502.575.649	328.297.277			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	31.053.034	13.316.101			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	329.837.293	220.334.158			
Construcción MO calificada	0,971	86.110.858	57.522.796			
Construcción MO no calificada	0,940	55.574.464	37.124.221			
<b>Tratamiento Secundario (Filtro Aerobio)</b>		909.056.381	541.043.554			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	276.825.087	118.707.595			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	413.241.045	276.048.584			
Construcción MO calificada	0,971	133.093.802	88.907.808			
Construcción MO no calificada	0,940	85.896.446	57.379.567			
<b>Tratamiento Secundario (Sedimentador secundario)</b>		377.140.108	241.729.818			

Concepto	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	42.656.480	18.291.869			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	235.049.010	157.014.767			
Construcción MO calificada	0,971	60.432.515	40.369.441			
Construcción MO no calificada	0,940	39.002.103	26.053.742			
<b>Tratamiento Secundario (lechos de secado)</b>		357.396.941	238.585.644			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	663.054	284.330			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	258.511.940	172.688.207			
Construcción MO calificada	0,971	59.695.500	39.877.109			
Construcción MO no calificada	0,940	38.526.447	25.735.999			
<b>Tratamiento terciario (Desinfeccion)</b>		259.694.491	129.660.649			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	183.190.797	78.555.521			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	26.141.802	17.462.949			
Construcción MO calificada	0,971	30.608.010	20.446.415			
Construcción MO no calificada	0,940	19.753.882	13.195.764			

Concepto	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
<b>Tratamiento biogas</b>		150.528.428	75.178.882			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,160	106.088.656	45.492.731			
Materiales y equipos Comp. Local	1,000	-	-			
Construcción MO calificada	0,971	27.008.774	18.042.094			
Construcción MO no calificada	0,940	17.430.998	11.644.057			
<b>Obras complementarias</b>		543.947.249	349.392.563			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,130	58.400.681	25.043.266			
Materiales y equipos Comp. Local	0,770	373.131.359	249.254.967			
Construcción MO calificada	0,971	68.321.616	45.639.429			
Construcción MO no calificada	0,940	44.093.593	29.454.901			
<b>Emisario descarga efluente tratado</b>		20.298.166	13.559.350			
Materiales y equipos Comp. Externo	1,140	-	-			
Materiales y equipos Comp. Local	0,770	11.208.072	7.487.089			



Concepto	FACTOR DE CONVERSION	2023	2024	2025	2026	2027
		1	2	3	4	5
Construcción MO calificada	0,971	5.524.608	3.690.486			
Construcción MO no calificada	0,940	3.565.487	2.381.776			

Tabla 88. Flujo Económico del Proyecto con los costos de O&M y Flujo Económico Neto. Cifras en colones.

Concepto	FACTOR DE CONVERSION	2027	2032	2037	2042	2047	2052
		5	10	15	20	25	30
<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO REDES OPCIÓN 1</b>							
<b>Servicios personales</b>		<b>8.661.781</b>	<b>8.280.544</b>	<b>7.916.648</b>	<b>7.569.290</b>	<b>7.237.704</b>	<b>6.921.162</b>
Personal calificado	0,971	1.138.024	1.111.482	1.085.559	1.060.240	1.035.512	1.011.361
Personal no calificado	0,940	7.523.757	7.169.063	6.831.090	6.509.050	6.202.192	5.909.801
<b>Servicios no personales</b>		<b>23.197.065</b>	<b>25.623.991</b>	<b>28.304.827</b>	<b>31.266.138</b>	<b>34.537.268</b>	<b>38.150.631</b>
Electricidad	1,000	9.941.599	10.981.710	12.130.640	13.399.774	14.801.686	16.350.270
Servicios técnicos	1,000	13.255.466	14.642.280	16.174.187	17.866.365	19.735.582	21.800.360
<b>Materiales y suministros</b>		<b>1.765.628</b>	<b>1.950.352</b>	<b>2.154.402</b>	<b>2.379.800</b>	<b>2.628.780</b>	<b>2.903.808</b>
Combustibles	1,110	588.543	650.117	718.134	793.267	876.260	967.936
Otros materiales y suministros	1,110	1.177.085	1.300.235	1.436.268	1.586.533	1.752.520	1.935.872
<b>Otros costos de operación</b>		<b>1.681.224</b>	<b>1.792.744</b>	<b>1.918.794</b>	<b>2.060.761</b>	<b>2.220.188</b>	<b>2.398.780</b>
<b>TOTAL O&amp;M COMPONENTE REDES</b>		<b>35.305.697</b>	<b>37.647.631</b>	<b>40.294.671</b>	<b>43.275.990</b>	<b>46.623.940</b>	<b>50.374.380</b>
<b>O &amp; M PLANTA DE TRATAMIENTO</b>							



Concepto	FACTOR DE CONVERSIÓN	2027	2032	2037	2042	2047	2052
		5	10	15	20	25	30
<b>Servicios personales</b>		<b>78.062.112</b>	<b>75.475.385</b>	<b>72.985.104</b>	<b>70.587.316</b>	<b>68.278.243</b>	<b>66.054.269</b>
Personal calificado	0,971	45.901.061	44.830.510	43.784.928	42.763.732	41.766.353	40.792.236
Personal no calificado	0,940	32.161.051	30.644.875	29.200.176	27.823.584	26.511.890	25.262.034
<b>Servicios no personales</b>		<b>27.862.988</b>	<b>30.778.074</b>	<b>33.998.141</b>	<b>37.555.099</b>	<b>41.484.193</b>	<b>45.824.358</b>
Servicios básicos (teléfono, internet, agua)	1,000	1.590.656	1.757.074	1.940.902	2.143.964	2.368.270	2.616.043
Electricidad iluminación y consumo doméstico planta	1,000	927.883	1.024.960	1.132.193	1.250.646	1.381.491	1.526.025
Mantenimiento, reparación y limpieza	1,000	8.616.053	9.517.482	10.513.222	11.613.137	12.828.128	14.170.234
Servicios técnicos	1,000	16.728.397	18.478.558	20.411.824	22.547.352	24.906.304	27.512.055
<b>Materiales y suministros</b>		<b>370.171.232</b>	<b>408.899.333</b>	<b>451.679.250</b>	<b>498.934.893</b>	<b>551.134.522</b>	<b>608.795.387</b>
Productos químicos	1,110	174.903.870	193.202.685	213.415.961	235.743.992	260.408.030	287.652.471
Combustibles	1,110	588.543	650.117	718.134	793.267	876.260	967.936
Materiales de limpieza	1,090	1.011.392	1.117.206	1.234.090	1.363.204	1.505.825	1.663.367
Gastos de electricidad del proceso de tratamiento	1,000	193.667.427	213.929.325	236.311.065	261.034.431	288.344.408	318.511.613
<b>Otros costos de operación</b>		<b>23.804.817</b>	<b>25.757.640</b>	<b>27.933.125</b>	<b>30.353.865</b>	<b>33.044.848</b>	<b>36.033.701</b>



Concepto	FACTOR DE CONVERSIÓN	2027	2032	2037	2042	2047	2052
		5	10	15	20	25	30
<b>TOTAL O&amp;M COMPONENTE DE PTAR</b>		<b>499.901.149</b>	<b>540.910.431</b>	<b>586.595.620</b>	<b>637.431.174</b>	<b>693.941.806</b>	<b>756.707.715</b>
<b>TOTAL OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>		¢535.206.847	¢578.558.062	¢626.890.291	¢680.707.163	¢740.565.746	¢807.082.095
<b>FLUJO NETO ECONÓMICO</b>		¢360.831.502	¢383.573.613	¢488.484.016	¢612.317.354	¢758.404.054	¢930.634.733

A su vez en la Tabla siguiente, se presentan los resultados de rentabilidad económica y social, generados del flujo económico presentado en el cuadro anterior.

Tabla 89. Resultados Rentabilidad Económica del Proyecto de Alcantarillado de Sanitario

Resultados Económicos		
VPN ECONOMICO	-¢2.337.663	-\$3.489
TIR ECONOMICA	5,95%	
TSD	8,31% <sup>17</sup>	

De acuerdo con los resultados del análisis económico, complementario del análisis financiero mostrado, se observa que el proyecto no genera una rentabilidad económica dado que la TIR económica es inferior a la Tasa Social de Decuento, lo que a su vez representa un valor presente neto económico negativo. No obstante, el análisis económico refleja una mejoría en la situación de rentabilidad comparando con el análisis financiero. Según se verá en el siguiente apartado, desde el punto de vista social se genera un excedente muy positivo por la naturaleza del proyecto en sus impactos ambientales y sociales.

## 6.4. Análisis Social y Distributivo

Complementariamente se trata de determinar a través del análisis social y distributivo, los beneficios y costos netos del proyecto e identificar cada uno de los grupos específicos beneficiados por ejemplo usuarios del sistema de alcantarillado, importadores, contratistas, mano de obra participante, especializada o no, entre otros. A esto se le llaman las externalidades del proyecto las cuales se obtienen del análisis distributivo o social mediante el cual se identifican los ingresos o costos que los diferentes grupos de la sociedad ganarán o perderán con la ejecución del proyecto.

Las externalidades corresponden a efectos que se originan a partir del proceso

<sup>17</sup> Referencia: MIDEPAN, 2019. Precios sociales - Guía para su aplicación AINVP/UIP.

productivo de un proyecto y cuyas consecuencias recaen en personas distintas a los beneficiarios directos del proyecto en cuestión, sin que éstos últimos internalicen dichos efectos.

Las externalidades pueden ser positivas o negativas, ya sea que correspondan a beneficios o costos que el proyecto haga incurrir a terceros. Es el caso de un proyecto de alcantarillado, por el hecho de disminuir la contaminación del medio ambiente ocasiona un beneficio para toda la comunidad, más allá de la población beneficiaria directa del proyecto.

Dentro de esta categoría están buena parte de los beneficios producto del mejoramiento de la calidad ambiental, por la eliminación de descargas clandestinas, presencia de vectores, olores, mosquitos y fauna nociva, así como el impacto sobre el mejoramiento de la salud de la población en general. Especialmente en el caso de la Fortuna al tener un flujo turístico muy importante y la presencia de hoteles, restaurantes, sodas y diferentes servicios a este sector, mucha de esta actividad comercial y de servicios se ubica en el centro urbano, los cuales únicamente cuentan con tanques sépticos y soluciones individuales para disponer sus aguas, muchas veces en condiciones ambiental y sanitariamente inconvenientes.

También se dan beneficios intangibles y costos derivados de los proyectos que resultan difíciles de medir o identificar, lo mismo ocurre con algunos beneficios y características, en donde el proyecto puede afectar positivamente y que no se pueden valorar de manera sencilla como cuantificar los impactos positivos en el medio ambiente, en los cuerpos de agua o aspectos relacionados con la flora y fauna por ejemplo en las descargas de efluentes tratados en cuerpos receptores cuya calidad mejora y posibilita usos alternativos aguas debajo de la descarga.

El Flujo de Externalidades se calcula restando los valores del flujo económico calculado en el acápite anterior, de los valores proyectados del flujo financiero deflactado (valores del flujo financiero divididos entre la tasa de inflación local proyectada)

Para cada uno de estos rubros de ingreso y gasto proyectado se obtiene el valor presente neto de estos valores que han sido restados, descontando a la TSD. La suma de estos valores neto-positivos y negativos nos da la externalidad total del Proyecto.

Para construir el flujo de externalidades se toma el flujo de caja económico según fue descrito y presentado en el acápite anterior y se resta del flujo financiero deflactado, es decir eliminado de él el efecto inflacionario.

Se tiene entonces un nuevo flujo de externalidades como diferencia entre estas dos proyecciones, la económica menos la financiera. Renglón por renglón y rubro por rubro se descuenta a la Tasa Social de Descuento (TSD) obteniéndose un valor presente neto de externalidades para cada renglón de ingreso y gasto. La suma de todas estas externalidades, sean valores positivos o negativos, según se mencionó, dan una sumatoria de valores presentes neto lo que implica al final un único valor que representa las externalidades, es decir todos aquellos beneficios y perjuicios de ejecutar el proyecto que no fueron contemplados en el análisis financiero y precios de mercado.

Después de aplicar lo descrito se presenta a continuación el flujo de externalidades para el horizonte del proyecto mostrando un valor presente neto de externalidades de:

<b>Externalidad total del proyecto</b>	<b>₡1.691.113.755</b>
<b>Equivalente en US\$</b>	<b>\$2.524.050</b>

Tabla 90. Flujo de Externalidades del Proyecto de Alcantarillado de Sanitario.

CONCEPTO	VALOR PRESENTE EXTERNALIDADES	2023	2024	2025	2026	2027	2032	2037	2042	2047	2052
		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
<b>DISPONIBILIDADES (+)</b>	<b>2.012.235.256</b>	-	-	<b>72.816.082</b>	<b>76.224.523</b>	<b>79.429.283</b>	<b>110.639.379</b>	<b>269.867.287</b>	<b>480.141.957</b>	<b>722.204.859</b>	<b>999.014.668</b>
<b>EXIGIBILIDADES (-)</b>											
<b>TOTAL EXTERNALIDADES INVERSIONES</b>	<b>131.610.118</b>	147.385.925	9.718.008								
<b>Red de Alcantarillado Sanitario</b>	<b>148.216.101</b>	135.215.738	42.380.109								
<b>Planta de Tratamiento</b>	<b>(16.605.984)</b>	12.170.186	(32.662.101)								
<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO REDES</b>											
<b>Servicios personales</b>	<b>(5.204.008)</b>			(523.917)	(519.050)	(514.228)	(490.795)	(468.448)	(447.137)	(426.811)	(407.427)
Personal calificado	<b>(354.119)</b>			(34.311)	(34.149)	(33.988)	(33.196)	(32.421)	(31.665)	(30.927)	(30.205)
Personal no calificado	<b>(4.849.889)</b>			(489.606)	(484.900)	(480.240)	(457.600)	(436.027)	(415.471)	(395.885)	(377.221)
<b>Materiales y suministros</b>	<b>3.933.666</b>			168.145	171.525	174.972	193.278	696.025	710.064	728.178	750.673
Combustibles	<b>723.506</b>			56.048	57.175	58.324	64.426	71.166	78.612	86.837	95.922
Otros materiales y suministros	<b>3.210.161</b>			112.097	114.350	116.648	128.852	624.859	631.452	641.341	654.751
<b>Otros costos de operación</b>	<b>(63.517)</b>			(17.789)	(17.376)	(16.963)	(14.876)	11.379	13.146	15.068	17.162



CONCEPTO	VALOR PRESENTE EXTERNALIDADES	2023	2024	2025	2026	2027	2032	2037	2042	2047	2052
		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
<b>VPN EXTERN. O&amp;M COMPONENTE REDES</b>	<b>(1.333.858,2)</b>			(373.561)	(364.901)	(356.219)	(312.393)	238.956	276.074	316.435	360.408
<b>Servicios personales</b>	<b>(35.014.361)</b>			<b>(3.476.760)</b>	<b>(3.450.128)</b>	<b>(3.423.720)</b>	<b>(3.294.969)</b>	<b>(3.171.527)</b>	<b>(3.053.160)</b>	<b>(2.939.647)</b>	<b>(2.830.776)</b>
Personal calificado	<b>(14.283.026)</b>			(1.383.889)	(1.377.372)	(1.370.886)	(1.338.913)	(1.307.686)	(1.277.187)	(1.247.399)	(1.218.306)
Personal no calificado	<b>(20.731.335)</b>			(2.092.872)	(2.072.756)	(2.052.833)	(1.956.056)	(1.863.841)	(1.775.973)	(1.692.248)	(1.612.470)
<b>Materiales y suministros</b>	<b>216.771.734</b>			<b>16.792.795</b>	<b>17.130.330</b>	<b>17.474.649</b>	<b>19.302.884</b>	<b>21.322.393</b>	<b>23.553.187</b>	<b>26.017.372</b>	<b>28.739.365</b>
Productos químicos	<b>215.012.300</b>			16.656.495	16.991.291	17.332.816	19.146.212	21.149.329	23.362.017	25.806.201	28.506.101
Combustibles	<b>723.506</b>			56.048	57.175	58.324	64.426	71.166	78.612	86.837	95.922
Materiales de limpieza	<b>1.035.928</b>			80.251	81.864	83.509	92.246	101.897	112.558	124.334	137.342
<b>Otros costos de operación</b>	<b>9.087.869</b>			<b>665.802</b>	<b>684.010</b>	<b>702.546</b>	<b>800.396</b>	<b>907.543</b>	<b>1.025.001</b>	<b>1.153.886</b>	<b>1.295.429</b>
<b>VPN EXTERN. O&amp;M COMPONENTE PTAR</b>	<b>190.845.241</b>			<b>13.981.836</b>	<b>14.364.212</b>	<b>14.753.476</b>	<b>16.808.311</b>	<b>19.058.410</b>	<b>21.525.029</b>	<b>24.231.611</b>	<b>27.204.018</b>
<b>VPN EXTERNAL. O&amp;M</b>	<b>189.511.383</b>			<b>13.608.275</b>	<b>13.999.311</b>	<b>14.397.258</b>	<b>16.495.918</b>	<b>19.297.366</b>	<b>21.801.103</b>	<b>24.548.046</b>	<b>27.564.426</b>
<b>EXTERNALIDAD TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>€1.691.113.755</b>										
	<b>\$2.524.050</b>										

## 7. Factibilidad ambiental

La factibilidad ambiental del proyecto se realizó a partir de la valoración ambiental mediante el instrumento de evaluación ambiental planteado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental. En el Anexo 4. Formulario D1 SETENA y estudios técnicos, se adjunta la valoración del proyecto y los estudios técnicos complementarios requeridos para optar por la viabilidad ambiental del proyecto.

Con el llenado del formulario D1, se identifican los siguientes factores ambientales impactados por el futuro desarrollo del proyecto durante su etapa constructiva.

Tabla 91. Síntesis de los principales factores ambientales impactados del formulario D1.

Factor ambiental	Actividad	Descripción	Puntuación
Agua	Acueducto público existente.	Consumo de agua entre 50 y 200 m <sup>3</sup> /mes	9
Agua	Aguas residuales ordinarias	Producción de aguas residuales ordinarias y se dispondrán en un tanque séptico o similar	16
Biotopos	Fauna	Hay afectación	12
Biotopos	Flora	Se eliminan árboles aislados en área sin cobertura boscosa	12
Aire	Emisiones de fuentes fijas	Hay emisiones controladas	6
Aire	Emisiones de fuentes móviles	Se utilizan equipos móviles	12
Aire	Contribución de las emisiones generales a la contaminación atmosférica con olores, gases y otros efectos	Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero están controladas	6
Aire	Ruidos y vibraciones	Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la regulación vigente, se puede confinar	9
Suelo	Residuos sólidos ordinarios	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente	9
Suelo	Residuos sólidos especiales	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente	9
Suelo	Residuos sólidos escombros	Se dispone finalmente en una escombrera dentro del AP o a un tercero sin fines comerciales, de conformidad con el reglamento de construcciones y el reglamento para el control nacional de fraccionamiento y urbanizaciones	6

Factor ambiental	Actividad	Descripción	Puntuación
Suelo	Residuos peligrosos químicos	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar, se trata y la disposición final se da en un relleno propio especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente	8
Suelo	Movimientos de tierra	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 10.000 m <sup>3</sup>	8
Humano	Culturas/paisaje	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana y no provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente	6
Humano	Vialidad	Genera tráfico nuevo en una proporción inferior al 25% de la capacidad vial instalada	6

Una vez completado el formulario D1, se brinda una clasificación según la Significancia del Impacto Ambiental del proyecto, tomando en cuenta, además de lo anterior, las regulaciones aplicables que operan la actividad y la clasificación del área según la ubicación del proyecto. Como resultado de ello, el proyecto de saneamiento de la Fortuna, da una clasificación según la Significancia del Impacto Ambiental de 255 puntos, lo que lo cataloga como un proyecto de Mediano-Bajo Impacto Ambiental.

Ahora, es importante indicar que este llenado es preliminar, ya que se debe de analizar nuevamente una vez se tenga definida la opción de alcantarillado sanitario que se desea construir, y ajustar el formulario D1 según necesidad, así como los estudios técnicos, y estudios que la SETENA pueda solicitar.

## 8. Borrador de términos de referencia

En el Anexo 7. Términos de Referencia se presenta el borrador de los términos de referencia del proyecto.

## 9. Tramitología

En la Tabla 92 se presenta algunos trámite que deberán de seguirse para obtener las aprobaciones respectivas del proyecto.

Tabla 92. Tramitología por realizar para la realización de proyecto de saneamiento.

Etapa del Proyecto	Trámite	Institución	Estado	Observaciones
Anteproyecto	Permiso de vertido	Dirección de Aguas	Pendiente. Fase de admisibilidad completa. Pendiente fase técnica y fase legal. El tiempo del trámite es de 6 - 12 meses.	El trámite de permiso de vertido es primordial y forma parte de la ruta crítica para el desarrollo de la planta de tratamiento de aguas residuales. La vigencia del permiso de vertido dependerá de la resolución de la Dirección de Aguas. Usualmente los permisos de vertido tienen una vigencia de 10 años.
Anteproyecto	Permiso de ubicación	Ministerio de Salud	Pendiente a la entrega del permiso de vertido. El tiempo del trámite es de 6 - 12 meses.	La vigencia del permiso de ubicación es de 2 años una vez se genere la resolución por parte del área rectora del Ministerio de Salud.
Anteproyecto	Viabilidad ambiental	Secretaría Técnica Nacional Ambiental	Pendiente El tiempo del trámite es de 6 - 12 meses.	El proyecto deberá de ingresar las componentes del alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales en conjunto. La vigencia de la viabilidad es normalmente de 5 años a partir de la generación de la resolución (SETENA podría indicar un tiempo diferente).
Diseño final	Aprobación del proyecto	Ministerio de Salud	Pendiente El tiempo del trámite es de 6 - 12 meses.	El trámite considera la presentación de los requisitos mínimos solicitados por el Ministerio de Salud para la revisión de los diseños finales.
Diseño final	Alineamiento de construcción	Ministerio de Obras Públicas y Transportes/ Municipalidad de San Carlos	Pendiente Los tiempos depende de cada Municipalidad.	Se establece el retiro/alineamiento de caminos.
Diseño final	Alineamiento de en zonas de protección de nacientes, ríos, quebradas, arroyos, lagos y embalses naturales, artificiales o acuíferos	Dirección de Urbanismo del INVU	Pendiente El tiempo es de aproximadamente 2-3 meses.	Se establece el lineamiento de protección de cuerpos de agua. Lineamiento fluvial.

Etapa del Proyecto	Trámite	Institución	Estado	Observaciones
Diseño final	Aprobación de planos constructivos en el Colegio Federado de Arquitectos e Ingenieros	Colegio Federado de Arquitectos e Ingenieros	Pendiente El tiempo de revisión depende de cada institución y de las observaciones que se realicen, aproximadamente puede ser de unos 4-6 meses.	Se pasa el proyecto a aprobación de instituciones como el CFIA, AyA, Ministerio de Salud.
Diseño final	Permiso de construcción	Municipalidad San Carlos	Pendiente Los tiempos depende de cada Municipalidad.	Presentar los requisitos completos del permiso de construcción.
Construcción	Incorporación regencia ambiental	Secretaría Técnica Nacional Ambiental	Pendiente El tiempo depende de lo que dure la construcción a totalidad según lo que se haya ingresado a SETENA.	Pago de la garantía ambiental, nombramiento del regente ambiental y apertura de bitácora ambiental.
Operación	Reportes Operacionales	Ministerio de Salud	Pendiente Normalmente la periodicidad es semestral.	Se deberán de presentar los reportes operacionales al área rectora del Ministerio de Salud.
Operación	Permiso de funcionamiento	Municipalida de San Carlos	Pendiente Los tiempos depende de cada Municipalidad.	Renovación del permiso de funcionamiento con la nueva actividad de operación de alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales.
Operación	Pago de Canon Ambiental	Dirección de Aguas	Pendiente Normalmente su pago es trimestral y el monto depende de lo que indique Dirección de Aguas	Este pago se debe de hacer una vez se otorgue el permiso de vertido.

## 10. Permiso de vertido

El trámite de permiso de vertido fue realizado exitosamente y se encuentra en revisión por parte de la Dirección de Aguas del MINAE.



**COMPROBANTE DE ENVIO  
SOLICITUD PERMISO VERTIDOS  
DIRECCION DE AGUA, COSTA RICA.**

Número de expediente	Trámite en proceso
Número de gestión	202200492
Trámite	SOLICITUD PERMISO VERTIDOS
Documento identidad del solicitante	3-002-194811
Nombre del solicitante	ASOCIACION ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTO RURAL DE LA FORTUNA DE SAN CARLOS
Documento identidad del gestor	01-1566-0171
Nombre del gestor	JOSSETTE MARIA QUESADA RODRIGUEZ
Fecha de recepción	15-02-2022 12:07:27



DIRECCION DE AGUA, Costa Rica, 2022

Figura 42. Comprobante de envío del trámite del permiso de vertido.

## 11. Permiso de ubicación

Requerimientos indispensables para tramitar el permiso de ubicación ante el Ministerio de Salud:

Nombre del proyecto global	Proyecto de saneamiento de la Fortuna de San Carlos, Alajuela
Nombre del responsable	Asociación Administradora de Acueducto Rural de la Fortuna de San Carlos
Localización según provincia, cantón y distrito, adjuntando copia del plano catastrado, actualizado y sin reducción.	Alajuela, San Carlos, La Fortuna. En anexos está el estudio registral con los planos del proyecto.
Dirección exacta de la propiedad	Agua Azul, La Fortuna
Breve explicación del proyecto global que requerirá del sistema de tratamiento	<p>La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está localizada en la Fortuna de San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica.</p> <p>El agua cruda ingresa a las unidades mecanizadas de tratamiento con rejillas mecánicas, tamiz y desarenadores para la remoción de los sólidos gruesos, atrapados, arenas, grasas y aceites. Seguidamente, el tanque de homogenización recibe los diferentes caudales horarios generados en el área de estudio para suministrar un caudal constante y una carga orgánica más eculizada a los tratamientos biológicos posteriores.</p> <p>Las aguas acumuladas en el tanque de homogenización</p>

	<p>son bombeadas directamente a los 3 reactores UASB que trabajan en paralelo para la distribución del caudal y tratamiento de las aguas residuales. En el reactor UASB se dan procesos anaerobios que generan como producto principal el biogás, el cual se ingresaría al quemador para su combustión y emisión a la atmósfera. Por otra parte, se generan lodos en exceso que deben ser retirados del reactor y que dichos lodos poseen características adecuadas para ser deshidratados únicamente en los lechos de secado y realizar su disposición final. Es importante mencionar que los reactores UASB reciben los lodos en exceso generados por los filtros percoladores con la finalidad de terminar de acondicionar dichos lodos y ser dispuestos con los lodos en exceso generados por los UASB.</p> <p>El efluente de salida de los reactores UASB es rociado en los filtros percoladores, mediante equipos de distribución rotatorios a 4 unidades que operan en paralelo. El agua residual sale de los filtros percoladores mezclada con los lodos de descarte hacia los sedimentadores secundarios donde 4 unidades operan en paralelo acumulando y se bombean constantemente los lodos a los reactores UASB. El agua clarificada pasa por un canal que cuenta con equipos con lámpara UV para la desinfección. Finalmente, los lodos deshidratados y los desechos acumulados del pretratamiento se les realiza una disposición final adecuada.</p>
<p>Disposición final propuesta para las aguas residuales</p>	<p>Vertido a la Quebrada La Danta por medio de un cabezal de desfogue</p>
<p>Permiso de vertido otorgado por el MINAE en caso de disposición en un</p>	<p>En trámite</p>

cuerpo receptor	
Plano de Conjunto del proyecto global	Se debe adjuntar las láminas de la PTAR elaboradas en este entregable

Debido a que el proyecto no cuenta aún con el permiso de vertido aprobado por la Dirección de Aguas del MINAE, no es posible tramitar el permiso de ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## 12. Permiso para reúso de aguas residuales y biosólidos

### 12.1. Reúso y disposición agua residual

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601 tiene como objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales. En dicho reglamento, se indica las posibilidades de disposición final de las aguas residuales tratadas provenientes de PTAR, entre los cuales se encuentra la opción de reúso. En la sección 4.2.2.10 Reutilización de aguas residuales, se indicó las posibilidades de reúso que podría tener las aguas residuales de la PTAR de La Fortuna.

Por sí solo, no existe un permiso específico de reúso de las aguas residuales provenientes de PTAR. En el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601, se indica los procesos que se deben de seguir para reportar este reúso, además, en el Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N°39887-S-MINAE, se debe de incluir una serie de requisitos de los planos constructivos, entre los cuales, para el reúso, se encuentra que se debe de incluir:

- Plano topográfico con las curvas de nivel a cada metro del terreno a utilizar.
- Plano de distribución en planta del área empleada para reúso.
- Detalle del tipo de riego.
- Ubicación de al menos dos pozos de monitoreo ubicado uno aguas arriba y otro aguas abajo del reúso.

Un aspecto importante por considerar es que el utilizar agua residual como riego se considera como infiltración de aguas tratadas al subsuelo, lo cual es regulado por el Reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas N°42075-S-MINAE, y también el Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Agua Residual N°39887-S-MINAE. Este último indica que cuando el destino final del agua tratada para reúso sea el riego, se deberá presentar un diseño del sistema de riego propuesto, elaborado por un profesional colegiado, que contemple lo siguiente:

- Una prueba de absorción superficial del terreno donde se indique la infiltración básica en milímetros por hora,
- Descripción del tipo de suelo (de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos),
- Plano del área susceptible del riego, con indicación de distancia a linderos de propiedad, con curvas de nivel,
- Tipo de cultivo,
- Sistema de riego propuesto,
- Memoria de cálculo del sistema de riego.

Dicho lo anterior, es importante indicar que cuando se tramite el permiso de ubicación de la PTAR, se indique los datos anteriores si se decide que el riego va a ser una opción de reúso para la PTAR La Fortuna. Además, dependiendo del tipo de reúso, se debe de cumplir con los parámetros de disposición final indicados en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601, y ya anteriormente indicados en la sección 4.2.2.10.

## **12.2. Reúso y disposición de biosólidos**

Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos N°39316-S regula la disposición final de los biosólidos ordinarios en rellenos sanitarios o como combustibles alternos, así como la prestación del servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los lodos y biosólidos provenientes de tanques sépticos y plantas de tratamiento, que brindan las empresas públicas o privadas

proveedoras del servicio.

Para el caso de la PTAR de La Fortuna, como se indicó en la sección 4.2.2.7 Lechos de secado, se le puede brindar un aprovechamiento a los biosólidos que salen de los lechos de secado de lodos, este aprovechamiento dependerá de los intereses y oportunidades que tenga la ASADA La Fortuna.

Ahora bien, con el tema de los permisos, no existe un permiso específico para reúso de los biosólidos. La gestión que debe de realizarse es con el Ministerio de Salud en los reportes operacionales que la PTAR deberá entregar una vez entre en funcionamiento, con la periodicidad que corresponda según la generación de biosólidos en base seca por año indicados en el Artículo 13 del Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos N°39316-S.

La información que se debe de reportar, para el caso donde los lodos generados reciben un tratamiento por la propia actividad, es la siguiente:

- a) Volumen total de lodos tratados en el periodo reportado.
- b) Tipo de lodo (ordinario o especial).
- c) Cantidad de biosólido producido.
- d) Resultados de análisis de laboratorio.
- e) Disposición final.
- f) Tipo de biosólido en caso de utilizarse para disposición en suelos.

Esta información deberá ser complementaria a los reportes operaciones de la PTAR según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601.

## **13. Disponibilidad de servicios**

### **13.1. Agua potable**

La Asociación Administradora de Acueducto Rural de la Fortuna de San Carlos, mediante el oficio ASADA-FORT-CDA-009-2022, indica que el plano A-1346460-2009, con finca folio real 454638-000 cuenta con disponibilidad de agua frente a la propiedad. Ver

anexo de documentación de servicios públicos del proyecto.

### **13.2. Servicio eléctrico**

El 19 de enero se recibió una visita de funcionarios de Coopelesca a la propiedad de la PTAR para hacer el estudio de la disponibilidad eléctrica. Indicaron que se debe de instalar la línea ya que actualmente no existe, y la distancia sería de 1,7 Km. También se indicó que la línea sería trifásica según las necesidades del proyecto, y que Coopelesca está anuente a colocar el voltaje necesario que vaya a requerir la PTAR.

### **13.3. Residuos sólidos**

En consultas con la Municipalidad de San Carlos, indicaron que el servicio de recolección de La Fortuna, lo realiza una empresa privada. Sin embargo, indicaron tener disponibilidad para recibir los residuos sólidos que el proyecto vaya a generar.

## 14. Ficha técnica del MIDEPLAN

<p>A) Nombre del proyecto</p>	<p>Estudio de factibilidad para el Proyecto de Saneamiento en La Fortuna de San Carlos, Alajuela</p>
<p>B) Descripción del proyecto</p>	<p>El proyecto consiste en realizar los estudios de factibilidad y diseños preliminares para un sistema de alcantarillado sanitario y PTAR para el distrito de La Fortuna de San Carlos.</p> <p>El distrito no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario, por lo que se da tratamiento a las aguas negras, principalmente con tanques sépticos. Además, en algunos puntos disponen aguas jabonosas sin tratamiento al cuerpo receptor. La densidad poblacional de la zona y su constante crecimiento resultan en un impedimento cada vez mayor para la construcción de tanques sépticos, con tamaños y condiciones adecuados que permitan una operación óptima de estos, por lo tanto, existe la necesidad de un sistema centralizado para el tratamiento de aguas residuales que permita proveer a La Fortuna las mejores condiciones de saneamiento, que le permitan seguir conservando su atractivo turístico.</p> <p>La necesidad de este proyecto también se puede ver evidenciada en el Plan de Desarrollo Distrital de La Fortuna 2014-2024, en el cual se detallan problemas e iniciativas que se pretenden tomar para la solución de estos, enfocados en diferentes sub-áreas, entre estos problemas se encuentra la ausencia de Alcantarillado Sanitario.</p> <p>Es por esta razón que se plantea el presente proyecto el cual consiste en la puesta en funcionamiento de un alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales, los cuales tienen un horizonte de diseño al 2050, con un total de 23077 personas. El alcantarillado sanitario será primordialmente por gravedad, aprovechando las diferencias de altura que presenta la zona de estudio. En total representa aproximadamente 31 Km de tubería, además, tiene una estación de bombeo para llevar las aguas del último colector a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La PTAR será diseñada con reactores anaerobios</p>

	de flujo ascendente y filtros percoladores, y tratarán un caudal de promedio diario al 2050 de 136,2 L/s. Esta última también tiene otros componentes de pretratamiento, tanque de homogenización, sedimentadores, desinfección, lecho de secado de lodos, y obras complementarias.
C) Sector al que pertenece	Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
D) Localización geográfica	Región: Huetar Norte Provincia: Alajuela Cantón: San Carlos Distrito: La Fortuna
E) Institución ejecutora	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
F) Unidad que elaboró el documento	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados <sup>18</sup>
G) Beneficiarios del proyecto	<p>La implementación de un sistema de alcantarillado sanitario beneficiará a las personas pobladoras de los sectores de: Zeta Trece, Barrio Pastoral, Palmas, El Centro, Barrio Olivos, Barrio Monolo, Barrio Pito, Barrio La Rivera, Barrio Dora y Barrio Pilo.</p> <p>El grupo meta o beneficiarios del proyecto serán todos aquellos con una posibilidad real de conectarse a la futura red de recolección de aguas residuales. En la consideración de este grupo meta se parte de los datos del acueducto y de ahí se define una cobertura del nuevo sistema de alcantarillado.</p> <p>De acuerdo con estimaciones realizadas para el mes de mayo del</p>

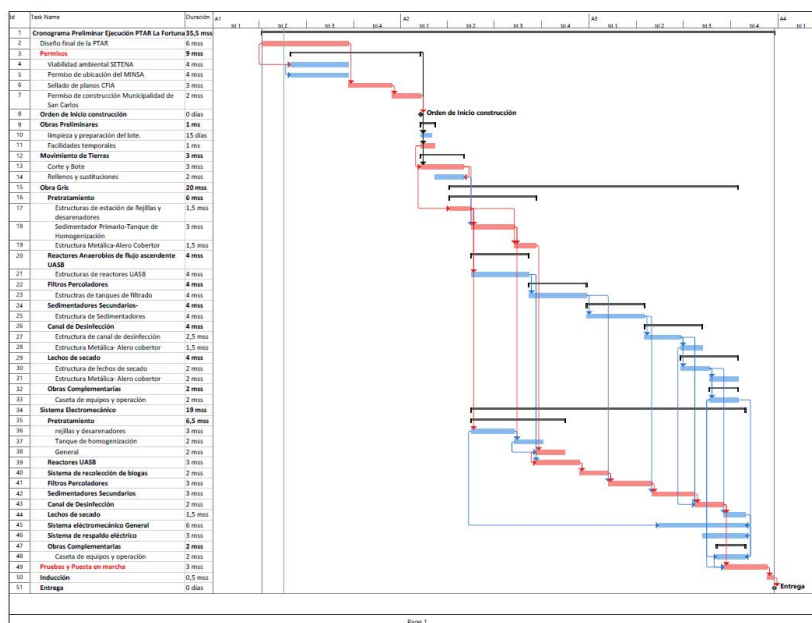
<sup>18</sup> Se coloca como unidad que elaboró el documento el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados como entidad que entregaría al MIDEPLAN el documento; sin embargo, el presente documento fue realizado por Hidrogeotecnia LTDA por encargo de la Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ).

	<p>2021, se tiene que, dentro de la zona de estudio definida, se cuenta con 2209 usuarios que estarían dentro de la cobertura del alcantarillado sanitario, lo cual corresponde a una población equivalente cubierta inicialmente por el alcantarillado sanitario de 8836 personas. Esto implica una cobertura del 79% con respecto a lo actualmente cubierto por el acueducto de La Fortuna.</p>																																
<p>H) Costos e ingresos totales del proyecto</p>	<p>El costo total de inversión del proyecto corresponde a un monto de \$23.292.230, el cual incluye costos directos como: redes de alcantarillado sanitario, servidumbre de colectores, protección de laderas y ríos y PTAR. Adicionalmente, incluye costos indirectos como: estudio de factibilidad, diseño final e inspección, imprevistos, escalamiento y utilidad del contratista.</p> <p>Por otra parte, para los costos de operación y mantenimiento para las obras de redes y PTAR se realiza una proyección a 7 años, los consideran rubros como: índice inflación, incremento costos por deterioro de instalaciones e inflación local, servicios personales y no personales, personal calificado y no calificado, electricidad bombeo, servicios técnicos, materiales y suministros, combustibles, entre otros.</p> <table border="1" data-bbox="532 1115 1458 1671"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Redes</th> <th>PTAR</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>2023</b></td> <td>¢35.045.635</td> <td>¢466.329.213</td> <td>¢501.374.848</td> </tr> <tr> <td><b>2027</b></td> <td>¢41.341.935</td> <td>¢562.419.120</td> <td>¢603.761.054</td> </tr> <tr> <td><b>2032</b></td> <td>¢51.015.099</td> <td>¢704.349.424</td> <td>¢755.364.522</td> </tr> <tr> <td><b>2037</b></td> <td>¢63.194.847</td> <td>¢884.204.481</td> <td>¢947.399.328</td> </tr> <tr> <td><b>2042</b></td> <td>¢78.561.965</td> <td>¢1.112.395.008</td> <td>¢1.190.956.973</td> </tr> <tr> <td><b>2047</b></td> <td>¢97.985.785</td> <td>¢1.402.224.426</td> <td>¢1.500.210.211</td> </tr> <tr> <td><b>2052</b></td> <td>¢122.576.816</td> <td>¢1.770.696.946</td> <td>¢1.893.273.763</td> </tr> </tbody> </table> <p>En relación a los ingresos, se presenta la proyección de ingresos para los primeros 5 años. Dichos montos han sido estimados</p>	Año	Redes	PTAR	TOTAL	<b>2023</b>	¢35.045.635	¢466.329.213	¢501.374.848	<b>2027</b>	¢41.341.935	¢562.419.120	¢603.761.054	<b>2032</b>	¢51.015.099	¢704.349.424	¢755.364.522	<b>2037</b>	¢63.194.847	¢884.204.481	¢947.399.328	<b>2042</b>	¢78.561.965	¢1.112.395.008	¢1.190.956.973	<b>2047</b>	¢97.985.785	¢1.402.224.426	¢1.500.210.211	<b>2052</b>	¢122.576.816	¢1.770.696.946	¢1.893.273.763
Año	Redes	PTAR	TOTAL																														
<b>2023</b>	¢35.045.635	¢466.329.213	¢501.374.848																														
<b>2027</b>	¢41.341.935	¢562.419.120	¢603.761.054																														
<b>2032</b>	¢51.015.099	¢704.349.424	¢755.364.522																														
<b>2037</b>	¢63.194.847	¢884.204.481	¢947.399.328																														
<b>2042</b>	¢78.561.965	¢1.112.395.008	¢1.190.956.973																														
<b>2047</b>	¢97.985.785	¢1.402.224.426	¢1.500.210.211																														
<b>2052</b>	¢122.576.816	¢1.770.696.946	¢1.893.273.763																														

	<p>considerando datos como: el número total de abonados, volumen promedio de consumo, tarifa promedio, ingresos por el servicio de alcantarillado e ingresos por otro concepto.</p> <table border="1" data-bbox="756 405 1232 1163"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Ingreso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2025</td> <td>₪818.036.232</td> </tr> <tr> <td>2026</td> <td>₪882.017.438</td> </tr> <tr> <td>2027</td> <td>₪946.673.719</td> </tr> <tr> <td>2028</td> <td>₪1.012.010.543</td> </tr> <tr> <td>2029</td> <td>₪1.044.599.828</td> </tr> <tr> <td>2032</td> <td>₪1.114.334.445</td> </tr> <tr> <td>2037</td> <td>₪1.317.272.389</td> </tr> <tr> <td>2042</td> <td>₪1.468.156.325</td> </tr> <tr> <td>2047</td> <td>₪1.626.373.292</td> </tr> <tr> <td>2052</td> <td>₪1.793.024.029</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Ingreso	2025	₪818.036.232	2026	₪882.017.438	2027	₪946.673.719	2028	₪1.012.010.543	2029	₪1.044.599.828	2032	₪1.114.334.445	2037	₪1.317.272.389	2042	₪1.468.156.325	2047	₪1.626.373.292	2052	₪1.793.024.029
Año	Ingreso																						
2025	₪818.036.232																						
2026	₪882.017.438																						
2027	₪946.673.719																						
2028	₪1.012.010.543																						
2029	₪1.044.599.828																						
2032	₪1.114.334.445																						
2037	₪1.317.272.389																						
2042	₪1.468.156.325																						
2047	₪1.626.373.292																						
2052	₪1.793.024.029																						
<p>l) Posibles fuentes de financiamiento</p>	<p>Se consideran los siguientes mecanismos de financiamiento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) recursos sin costo, de una fuente gubernamental;</li> <li>2) recursos bajo la figura de una asociación público privada APP, incorporando un socio capitalista, como podría ser la ADIFORT u otra entidad con posibilidades e interés en participar en el proyecto como socio con la ASADA La Fortuna;</li> <li>3) Donaciones de fondos ambientales o de saneamiento, disponibles a nivel internacional;</li> <li>4) Préstamo en condiciones concesionales.</li> </ol> <p>Sobre este último, se estableció el escenario base del préstamo para la inversión inicial con las siguientes condiciones:</p>																						

	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="711 258 1279 352">Deuda escenario base</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="711 352 1084 478">Monto Préstamo (Monto de la inversión inicial)</td> <td data-bbox="1084 352 1279 478">\$18.835.980</td> </tr> <tr> <td data-bbox="711 478 1084 573">Tasa de interés</td> <td data-bbox="1084 478 1279 573">3%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="711 573 1084 678">Años gracia</td> <td data-bbox="1084 573 1279 678">3</td> </tr> <tr> <td data-bbox="711 678 1084 783">Período repago</td> <td data-bbox="1084 678 1279 783">30</td> </tr> <tr> <td data-bbox="711 783 1084 877">Cuota anual US\$</td> <td data-bbox="1084 783 1279 877">-\$960.998</td> </tr> <tr> <td data-bbox="711 877 1084 1003">Cuota anual CCR</td> <td data-bbox="1084 877 1279 1003">- Ø643.868.498</td> </tr> <tr> <td data-bbox="711 1003 1084 1098">Cuota mensual CCR</td> <td data-bbox="1084 1003 1279 1098">-Ø53.655.708</td> </tr> </tbody> </table>	Deuda escenario base		Monto Préstamo (Monto de la inversión inicial)	\$18.835.980	Tasa de interés	3%	Años gracia	3	Período repago	30	Cuota anual US\$	-\$960.998	Cuota anual CCR	- Ø643.868.498	Cuota mensual CCR	-Ø53.655.708
Deuda escenario base																	
Monto Préstamo (Monto de la inversión inicial)	\$18.835.980																
Tasa de interés	3%																
Años gracia	3																
Período repago	30																
Cuota anual US\$	-\$960.998																
Cuota anual CCR	- Ø643.868.498																
Cuota mensual CCR	-Ø53.655.708																
<p>J) Cronograma del proyecto</p>	<p>De forma preliminar se contempla un plazo de tiempo de 3 años para el desarrollo de las actividades del proyecto, lo cual incluye para la PTAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseños finales de la PTAR.</li> <li>• Tramite de permisos</li> <li>• Obras preliminares</li> <li>• Movimientos de tierra</li> <li>• Obra gris: sistema de pretratamiento, reactores anaerobios de flujo ascendente UASB, filtros percoladores, sedimentadores secundarios, canal de desinfección, lechos de secado, obras complementarias.</li> <li>• Sistema electromecánico: pretratamiento, reactores UASB, sistema de recolección de biogás, filtros percoladores, sedimentadores secundarios, canal de desinfección, lechos de secado, sistema electromecánico general, sistema de respaldo eléctrico, obras complementarias.</li> <li>• Pruebas y puesta en marcha</li> </ul>																

• Inducción



Con respecto al alcantarillado sanitario, se estableció el siguiente cronograma con priorización de algunos sectores:

Etapa	Año 1	Año 2	Año 3
Etapa I			
Etapa II			
Etapa III			
Etapa IV			
Etapa V			
Etapa VI			
Etapa VII			
Etapa VIII			

	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="699 260 818 285">Etapa</th> <th data-bbox="818 260 1284 285">Actividad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="699 285 818 331">Etapa I</td> <td data-bbox="818 285 1284 331">Formalización de la constitución de las servidumbres / permisos en zona de protección de ríos</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 331 818 357"></td> <td data-bbox="818 331 1284 357">Diseño Final del Sistema de Alcantarillado</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 357 818 382">Etapa II</td> <td data-bbox="818 357 1284 382">Construcción de colector final de entrada a la PTAR</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 382 818 407"></td> <td data-bbox="818 382 1284 407">Construcción de colectores R. Burío y Q. Danta</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 407 818 432">Etapa III</td> <td data-bbox="818 407 1284 432">Construcción Barrios: Centro, El Burío, El Jardín  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 432 818 457">Etapa IV</td> <td data-bbox="818 432 1284 457">Construcción Barrios: Doña Dora, El Estadio, La Rivera, Residencial Madera, Sol Norte, Urb. El Estadio, Urb. Florecillas</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 457 818 483">Etapa V</td> <td data-bbox="818 457 1284 483">Construcción Barrios: Don Bosco, El Seguro, La Iguana, Las Palmas, Los Tanques, Manolo, Olivos, Pastoral</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 483 818 508">Etapa VI</td> <td data-bbox="818 483 1284 508">Construcción Barrios: Llanura Clara, Residencial El Burío, Valle del Volcán</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 508 818 533">Etapa VII</td> <td data-bbox="818 508 1284 533">Construcción Barrios: Zeta 13</td> </tr> <tr> <td data-bbox="699 533 818 558">Etapa VIII</td> <td data-bbox="818 533 1284 558">Construcción Barrios: Sinai</td> </tr> </tbody> </table>	Etapa	Actividad	Etapa I	Formalización de la constitución de las servidumbres / permisos en zona de protección de ríos		Diseño Final del Sistema de Alcantarillado	Etapa II	Construcción de colector final de entrada a la PTAR		Construcción de colectores R. Burío y Q. Danta	Etapa III	Construcción Barrios: Centro, El Burío, El Jardín	Etapa IV	Construcción Barrios: Doña Dora, El Estadio, La Rivera, Residencial Madera, Sol Norte, Urb. El Estadio, Urb. Florecillas	Etapa V	Construcción Barrios: Don Bosco, El Seguro, La Iguana, Las Palmas, Los Tanques, Manolo, Olivos, Pastoral	Etapa VI	Construcción Barrios: Llanura Clara, Residencial El Burío, Valle del Volcán	Etapa VII	Construcción Barrios: Zeta 13	Etapa VIII	Construcción Barrios: Sinai
Etapa	Actividad																						
Etapa I	Formalización de la constitución de las servidumbres / permisos en zona de protección de ríos																						
	Diseño Final del Sistema de Alcantarillado																						
Etapa II	Construcción de colector final de entrada a la PTAR																						
	Construcción de colectores R. Burío y Q. Danta																						
Etapa III	Construcción Barrios: Centro, El Burío, El Jardín																						
Etapa IV	Construcción Barrios: Doña Dora, El Estadio, La Rivera, Residencial Madera, Sol Norte, Urb. El Estadio, Urb. Florecillas																						
Etapa V	Construcción Barrios: Don Bosco, El Seguro, La Iguana, Las Palmas, Los Tanques, Manolo, Olivos, Pastoral																						
Etapa VI	Construcción Barrios: Llanura Clara, Residencial El Burío, Valle del Volcán																						
Etapa VII	Construcción Barrios: Zeta 13																						
Etapa VIII	Construcción Barrios: Sinai																						
<p>K) Principales restricciones y limitaciones</p>	<p>Si se desea trazar la tubería utilizando las zonas de protección de los cauces del Río Burío y Quebrada Danta, se debe de considerar el trámite de Declaratoria de Conveniencia Nacional, la cual implica más estudios y tiempo para su aprobación.</p> <p>Por otro lado, desde el punto de vista económico y financiero, se debe de considerar algunas vías las cuales obtener financiamiento del proyecto para su etapa de inversión.</p>																						

## 15. Conclusiones de etapa 3

A continuación, se definen las principales conclusiones:

- Para la opción 1, propuesta inicial, se requiere diámetros de tubería de 200 mm a 450 mm, con una longitud total de alcantarillado sanitario de 32,4 Km, y un total de 396 pozos, de los cuales el 23% sobre pasa los 3 metros de profundidad con un máximo de 7 metros. Para la opción 2, se utilizan diámetros de tubería de 200-450 mm, y la longitud total es de 30,9 Km, con un total de 378 pozos de los cuales el 16% sobrepasa los 3 metros de profundidad a un máximo de 7,64 metros.
- En cuanto a la PTAR, esta está constituida por unidades mecanizadas como pretratamiento, tanque de homogenización, 3 reactores UASB, 4 filtros percoladores, 4 sedimentadores secundarios, desinfección por medio de lámpara UV y lecho de secado de lodos. Con el prediseño, la PTAR estará cumpliendo con una DQO de 67,2 mg/L, DBO de 36,1 mg/L, SST de 19,6 mg/L, N-NH<sub>3</sub> de 6,8 mg/L, N<sub>2</sub> de 7,7 mg/L, P de 3,9 mg/L, GyA en 3,65 mg/L, coliformes fecales de 100 NMP/100 mL y con un caudal de 12 142,9 m<sup>3</sup>/día.
- Los subproductos de la PTAR como el biogás, biosólidos, y el agua residual podrían ser utilizados de una manera sostenible en el proyecto. El agua residual puede reutilizarse en procesos como riego y en actividades de lavado y uso en servicios sanitarios, los biosólidos pueden usarse en el acondicionamiento de suelos, y el biogás puede aprovecharse energéticamente para el abastecimiento de la PTAR. Estos usos deben detallarse aún más en el diseño final, así como su factibilidad para el aprovechamiento de los mismos.
- Para la priorización de obras, en el caso del alcantarillado sanitario se sugiere empezar con la constitución de servidumbres o permisos en la zona de protección de ríos, seguido de los diseños finales, posterior a eso, iniciar la construcción del colector final a la entrada de la PTAR, y luego los colectores del Río Burío y Quebrada Danta. En el caso de la PTAR, se recomienda concluir los diseños finales y permisos, y posterior a eso construir a totalidad la PTAR, sin dejar etapas posteriores de construcción.
- El monto de inversión total del proyecto para la opción de alcantarillado sanitario por gravedad, y planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de filtros percoladores y UASB, considerando los costos directos de US\$18.835.980,00 y los costos indirectos (preinversión, diseños finales, gastos financieros, imprevistos y escalamiento) de \$4.455.141,00, da un total de

proyecto de \$23.291.121,00. Con el diseño final se deberán de afinar estas cifras. La etapa de preinversión se contempla en 3 años, necesarios para efectuar los diseños finales, permisos, consecución de financiamiento, licitación y construcción de obras.

- Se parte analizando la rentabilidad financiera del proyecto, complementando con el análisis económico y social o externalidades del mismo. Al no generar, una rentabilidad financiera, el análisis se centra, dada la gran importancia ambiental y social de este proyecto, en cómo y a partir de cuál estructuración financiera en torno a su capitalización se podría dar esa viabilidad financiera al proyecto, logrando el fondeo necesario para su ejecución.
- También se valoraron las externalidades del Proyecto que reflejaran la importancia del proyecto para la ciudad de La Fortuna y su alto impacto sanitario y ambiental en la población y recursos de la zona. A partir de la aplicación de los precios sociales y construir el flujo de externalidades, como análisis complementario al análisis financiero y de costos, permitió incorporar criterios de beneficio social e impacto a nivel macroeconómico del país, para efectuar la evaluación económico-social del proyecto de alcantarillado de La Fortuna. Se obtiene un valor de externalidades positivo de US\$2.564.922.
- El proyecto cuenta con disponibilidad de agua, servicio eléctrico de Coopelesca, opción de disposición de los residuos sólidos con la Municipalidad de San Carlos, se tramitó el permiso de vertido ante la Dirección de Aguas del MINAE el cual se encuentra en trámite, y se recopiló la información para el permiso de ubicación ante el Ministerio de Salud, y los documentos para la Evaluación de Impacto Ambiental ante SETENA mediante el formulario D1.

## 16. Conclusiones de la consultoría

De la primera etapa se obtuvo que La Fortuna presenta problemas de descargas en de aguas residuales en el alcantarillado pluvial y cuerpos de aguas superficiales, problemas ambientales como malos olores, vectores, entre otros; las cuales provienen del sector residencial y comercial como restaurantes, tiendas, hoteles, oficinas, supermercados, panaderías, ferreterías, salones de belleza, talleres, spa, gimnasios y clínicas, ente otros.

Durante la Etapa 1 se determinó la población de diseño mediante un análisis de proyecciones, la cual dio que se tendrán 23077 habitantes para el 2050, considerando un crecimiento anual de 2.5%. También se estableció los parámetros para el prediseño como dotación total neta en 637.6 l/p/d y, caudal promedio de aguas residual de 136.2 l/s, caudal máximo diario de 172.2 l/s y máximo horario de 254.0 l/s para el 2050. El análisis de cargas orgánicas generales del proyecto (sector residencial y comercial) como resultados 5842.7 kg/d DBO, 13310.6 kg/d DQO y 4805.7 kg/d de SST.

En la Etapa 2 del proyecto se realizó el análisis de tres opciones de alcantarillado sanitario, y 3 opciones de PTAR. De estas opciones, se hizo un predimensionamiento de cada una de ellas y se determinó un presupuesto preliminar, y desarrolló un análisis financiero, económico que ayudara en la selección de la alternativa. Esta selección se efectuó con una evaluación multicriterio y taller participativo con las partes interesadas, y se determinó que para la alternativa de alcantarillado sanitario los criterios sociales tienen una mayor relevancia (37%), seguidamente los criterios técnicos (29%), los criterios económicos (18%) y los criterios ambientales (16%). Respecto a la valoración de las alternativas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se determinó que los criterios sociales tienen una mayor relevancia (53%), seguidamente los criterios técnicos (31%), los criterios ambientales (16%) y los criterios económicos (3%). Como resultado de esta valoración, se selecciona la alternativa de alcantarillado sanitario por gravedad, y la tecnología de UASB con filtros percoladores para la PTAR.

Una vez concluida la Etapa 2 de selección de alternativas, se inició la Etapa 3 de prediseño, priorización de obras, factibilidad financiera, económica, social y ambiental, y documentos para permisos del proyecto. En el caso del alcantarillado sanitario, se realizó el prediseño para dos opciones, una considerando que los colectores principales vayan por la zona de protección del Río Burío y Quebrada Danta, y la otra considerando la constitución de servidumbres al lado de la zona de protección. Cada opción se analizó y se determinó un presupuesto preliminar de inversión y de operación y mantenimiento, así como el análisis financiero, económico y social.

El proyecto tiene un monto de inversión total en el escenario base seleccionado, de \$23.291.121,00. La etapa de preinversión se contempla en 3 años, necesarios para efectuar los diseños finales, permisos, consecución de financiamiento, licitación y construcción de obras.

Es importante indicar, que con el diseño final se deberá establecer un presupuesto detallado, así como establecer los criterios técnicos de diseño para el alcantarillado sanitario y PTAR. Además, previamente se deberá seleccionar la opción de alcantarillado por gravedad que mejor le convenga a la ASADA La Fortuna, según el procedimiento que desee seguir para tramitología o constitución de servidumbres. Una vez que se defina, se deberá tramitar la viabilidad ambiental ante SETENA, en donde en Etapa 3, se realizaron los estudios básicos para el instrumento D1 con Declaración Juarada de Compromisos Ambientales.

El proyecto de alcantarillado sanitario y PTAR para el pueblo de la Fortuna, es un proyecto de suma importancia, no solo ambiental sino también turística para la zona y el país. Es necesario que el proyecto pueda continuar con las vías de financiamiento, y asegurar su ejecución, ya con esto mejorará las condiciones de saneamiento, de salud, y la imagen de una zona de tanta riqueza natural y cultural para el país.

## 17. Bibliografía

- ABNT. (1992). NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Brazil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- APHA/AWWA/WPCF. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D.C.: 23rd Ed. American Public Health Association.
- Arce, P. (2018). Humedales Artificiales: Una alternativa para el tratamiento de aguas de producción. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Arceivala, S. (1981). Wastewater treatment and disposal. New York: Marcel Dekker.
- Arias, A. (2021). Monitoreo de las características fisicoquímicas de las aguas residuales de actividades comerciales en Costa Rica. San José.
- Blanco, G., Santalla, E. Córdoba, V., Levy, A. 2017. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico. Nota técnica N° IDB-TN-1260. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Caicedo, F. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor U.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. Universidad Nacional de Colombia.
- Carazo, J. (2021). Clasificación biológica de la calidad de cuerpos de agua superficiales: La Fortuna. San José.
- Chernicharo, C., Silva, L., Bressani, T., Sidnei, B., Días, & Carlos, P. P. (2018). Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma. Revista DAE, 30-55.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Diseño de Lagunas de Estabilización. Mexico.
- Consejería de Agricultura y Pesca. (2004). Manual de riego de jardines. VICECONSEJERÍA. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Ediciones Ilustres S.L. (Córdoba).
- Costa Rica. AyA, MINAE y MS. (2016). Política Nacional de Sanaamiento en Aguas Residuales 2016-2045. San José, San José, Costa Rica. Obtenido de <http://www.da.go.cr/saneamiento-de-aguas->



- Gutiérrez, K. Aprovechamiento del biogás del Relleno Sanitario para la generación de electricidad. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Fidélitas. Repositorio Institucional Universidad Fidélitas.
- Hoffmann, H. P. (2011). Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ.
- Instituto Costarricense Acueductos y Alcantarillado. (2021). Monitoreo de las características fisicoquímicas de las aguas residuales en Costa Rica. San José.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). Norma técnica para "Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. San José: Acuerdo N°2017-281.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). Volumen 2. Descripción del proyecto y especificaciones técnicas particulares. Proyecto Construcción y mejoras de colectores y subcolectores en las cuencas Rivera, Torres, María Aguilar y Tiribí.
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2012). Plan de Manejo 2012 2020 Parque Nacional Volcán Arenal Sistema Nacional de Áreas de Conservación. San José.
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2020). Factores de emisión GEI, Décima edición. Obtenido de <https://www.imn.ac.cr/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011). Censo 2011. Costa Rica: Indicadores de estado y acceso a servicios básicos de la vivienda, según cantón y distrito. San José.
- Kish, L. (1965). Survey Sampling. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Mara, D. (2003). Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. UK, USA: Earthscan.
- Matsumoto, T. (2016). Desempeño de las lagunas anaerobia con bafle divisor y facultativa de la PTAR de Santa Fe do Sul ( São Paulo , Brasil ) \* Performance of

- the anaerobic lagoons with dividing baffle and facultative of the wwtp of Santa Fe do Sul ( São Paulo , Brazil ). *Revista Ingenierías*, 15(29), 27-42.
- Metcalf & Eddy, I. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización Tomo 1 y 2*. México: McGRAW-HILL.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2010). *Guía metodológica general para la identificación, formulación y evaluación de proyectos de inversión pública : Costa Rica / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica*. San José.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2012). *Guía Metodológica de Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Acueducto y Alcantarillado Sanitario en Costa Rica*. San José.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2019). *Precios Sociales - Guía para su aplicación AINVP/UIP*. San José.
- Ministerio de Salud. (2021). *Registro reportes operacionales del Área Rectora Florencia, San Carlos, Alajuela*.
- Municipalidad San Carlos. (2 de Febrero de 2021). *Geoportal de Datos Geográficos*. Obtenido de Mapa de Patentes otorgadas: <https://idesca.munisc.go.cr/maps/28>
- Obaya, M., & Lorenzo, Y. (2006). *La digestión anaerobia y los reactores UASB*. Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar (ICIDCA).
- Pavco Wavin. (2020). *Manual Técnico Tubosistemas para Alcantarillado NOVAFORT NOVALOC*. Bogotá.
- Presidente de la República; Ministerio Ambiente y Energía; Ministerio Salud. (17 de 09 de 2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. Decretos N° 33903-MINAE-S. San José, San José, Costa Rica: *Diario Oficial La Gaceta*.
- Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. (2017). *Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales*. México.

- Qasim, S., & Zhu, G. (2018). Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 1: Principles and Basic Treatment. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Quebec, Canadá: Reverté.
- Romero, C. (1996). ANÁLISIS DE LAS DECISIONES MULTICRITERIO. Madrid: Isdefe.
- Ruiz, F. (Julio de 2012). Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica: Situación Actual y Perspectiva. San José, Costa Rica.
- Salviera, B. (2015). Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasilia.
- Silva, L. (2020). Diseño razonado de muestras y captación de datos para la investigación sanitaria. . Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Sotelo, G. (1997). Hidráulica General Vol 1. México: Noriega Editores.
- Sperling, M. V. (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. New York: IWA Publishing.
- Stuetz, R., & Frechen, F.-B. (2001). Odours in Wastewater Treatment: Measurement, Modelling and Control. London: IWA Publishing.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, D. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse . McGraw-Hill Companies Inc.
- Veiga, M. d. (2015). Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB). Universidade da Coruña.
- Water Research Commission. (2002). Guidelines for the Application of Natural Stone Trickling Filters (with some reference to Synthetic Media Trickling Filters). Republic of South Africa.

## **18. Anexos**

## 18.1. Anexo 1. Memoria de cálculo alcantarillado sanitario

Se presentan las tablas de salida de resultados del modelo realizado en el programa SewerGEMS v10.

### 18.1.1. Opción 1. Alcantarillado sanitario

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
1	309,77	2	307,18	75,3	3,427	200,7	0,01	1,5	0,98	79,67	12,7	0,415
2	307,12	3	302,7	116,1	3,809	200,7	0,01	1,64	1,04	83,99	13,1	0,471
3	302,64	4	300,48	57,6	3,76	200,7	0,01	1,83	1,07	83,46	13,9	0,49
4	300,42	5	295,66	119,5	3,981	200,7	0,01	2,03	1,13	85,86	14,6	0,536
5	295,6	6	291,82	99,7	3,79	200,7	0,01	3,92	1,35	83,79	20,3	0,694
6	291,76	7	288,14	97,2	3,732	200,7	0,01	4,25	1,38	83,14	21,2	0,711
7	288,08	8	283,76	110,4	3,906	200,7	0,01	11,24	1,86	85,06	34,6	1,131
8	283,7	9	278,35	109,6	4,884	200,7	0,01	11,26	2,02	95,11	34	1,347
9	278,29	10	276,14	45,8	4,702	200,7	0,01	17,86	2,27	93,32	43,3	1,597
10	276,08	11	272,23	79	4,874	200,7	0,01	24,17	2,51	95,01	50,5	1,867
11	272,17	12	267,81	115,2	3,784	200,7	0,01	24,36	2,3	83,72	52	1,531
12	267,75	13	263,25	118,8	3,794	200,7	0,01	24,4	2,3	83,83	52	1,535
13	263,19	14	258,41	118,1	4,042	200,7	0,01	24,4	2,35	86,52	51,7	1,616
14	258,35	15	253,36	117,7	4,239	200,7	0,01	24,4	2,39	88,61	51,5	1,678
15	253,3	16	249,45	117,9	3,263	200,7	0,01	24,52	2,18	77,74	52,9	1,364
16	249,39	17	245,36	115	3,505	200,7	0,01	24,67	2,24	80,58	52,7	1,448
17	245,3	49	242,34	100,5	2,952	200,7	0,01	24,75	2,1	73,94	53,7	1,266
18	304,88	19	302,74	68,1	3,145	200,7	0,01	1,91	1,02	76,32	14,4	0,435



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
18	304,78	23	301,48	91,5	3,61	200,7	0,01	2,1	1,1	81,77	15	0,505
19	302,68	20	298,79	68,4	5,63	200,7	0,01	2,28	1,33	102,66	15	0,746
20	298,77	21	295,36	64,6	5,286	200,7	0,01	1,5	1,14	98,94	12,2	0,582
20	298,73	25	296,24	92,7	2,72	200,7	0,01	1,5	0,9	70,5	13	0,345
21	295,26	22	292,41	64,4	4,421	200,7	0,01	1,85	1,14	90,49	13,8	0,558
22	292,35	27	290,72	95,5	1,705	200,7	0,01	2,13	0,85	56,19	16,1	0,284
23	301,42	24	298,37	74,9	4,071	200,7	0,01	2,57	1,22	86,84	16,3	0,607
24	298,35	25	296,24	60,8	3,472	200,7	0,01	1,54	0,99	80,19	12,8	0,427
24	298,31	5	295,66	100,9	2,625	200,7	0,01	1,5	0,89	69,73	13	0,339
25	296,18	26	293,59	66,3	3,84	200,7	0,01	3,76	1,36	85,05	19,8	0,696
26	293,53	27	290,72	66,7	4,215	200,7	0,01	4,19	1,43	88,36	20,8	0,776
27	290,66	7	288,14	102,2	2,472	200,7	0,01	6,72	1,37	67,67	27,8	0,632
28	303,31	30	301,12	45,5	4,825	200,7	0,01	1,73	1,16	94,54	13,2	0,578
29	303,76	28	303,37	65,3	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
30	301,06	32	298,77	43,2	5,294	200,7	0,01	3,56	1,48	99,02	18,8	0,861
31	301,43	30	301,12	53	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
32	298,71	34	298,49	36,6	0,50	200,7	0,01	5,27	0,77	33,34	28,5	0,188
33	299,08	32	298,77	51,8	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
34	298,43	35	291,91	104,9	6,27	200,7	0,01	5,45	1,77	107,25	23	1,18
35	291,85	38	290,83	18,8	5,437	200,7	0,01	7,1	1,83	100,35	26,6	1,197
36	293,48	35	291,91	26,8	5,86	200,7	0,01	1,54	1,19	104,18	12,3	0,637
37	294,71	36	293,54	40,4	2,891	200,7	0,01	1,5	0,92	73,18	12,9	0,365
38	290,77	39	289,28	36,3	4,109	200,7	0,01	7,14	1,66	87,23	27,4	0,966
39	289,22	40	289	36,9	0,50	200,7	0,01	7,18	0,84	33,34	33,5	0,214



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
40	288,94	41	286,57	106,8	2,25	200,7	0,01	7,36	1,35	64,15	29,4	0,605
41	286,51	42	283,71	70,7	3,95	200,7	0,01	7,59	1,67	85,53	28,3	0,961
42	283,75	43	282,62	60,8	1,865	200,7	0,01	1,5	0,79	58,78	13,5	0,261
42	283,65	9	278,35	123	4,31	200,7	0,01	6,42	1,64	89,35	25,8	0,955
43	282,46	45	280,99	50,1	2,94	200,7	0,01	3,25	1,17	73,8	18,9	0,523
44	283,69	43	282,52	35,4	2,25	200,7	0,01	1,5	0,96	78,39	12,7	0,407
45	280,93	46	279,32	50,7	3,13	200,7	0,01	3,43	1,22	76,73	19,3	0,571
46	279,26	48	278,2	99,2	1,08	200,7	0,01	5,53	0,96	44,43	27,4	0,3
47	279,58	46	279,32	43,2	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,1	0,108
48	278,14	10	276,14	104,8	1,909	200,7	0,01	6	1,21	59,47	34,5	0,491
49	242,28	50	239,81	84,2	2,926	200,7	0,01	24,93	2,1	73,62	54	1,261
50	239,75	51	236,37	110	3,07	200,7	0,01	25,12	2,14	75,41	53,9	1,314
51	236,31	52	232,98	109,5	3,05	200,7	0,01	25,49	2,14	75,16	54,4	1,315
52	232,92	53	230,57	85	2,765	200,7	0,01	25,94	2,08	71,57	55,4	1,223
53	230,51	54	228,99	49,3	3,069	200,7	0,01	24,91	2,14	75,4	53,7	1,309
53	230,61	62	228,98	105,1	1,549	200,7	0,01	1,5	0,74	53,56	13,7	0,225
54	228,93	67	225,94	97,9	3,051	200,7	0,01	24,01	2,12	75,18	52,6	1,282
54	229,03	66	227,39	116,4	1,412	200,7	0,01	1,5	0,72	51,15	13,8	0,21
55	241,67	56	238,53	77	4,071	200,7	0,01	1,5	1,04	86,83	12,5	0,475
56	238,47	57	235,6	79,9	3,598	200,7	0,01	1,87	1,06	81,64	14,1	0,478
57	235,54	59	231,99	117,1	3,024	200,7	0,01	4,09	1,27	74,84	21,2	0,593
58	236,89	57	235,6	83	1,559	200,7	0,01	1,5	0,74	53,74	13,7	0,226
59	231,93	60	230,37	55,7	2,813	200,7	0,01	4,71	1,29	72,18	22,9	0,597
60	230,31	61	228,43	53,5	3,36	200,7	0,01	5,02	1,42	80,61	23,2	0,73



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
61	228,37	65	226,93	56,7	2,56	200,7	0,01	9,37	1,52	68,59	32,8	0,746
62	228,88	61	228,43	74,6	0,50	200,7	0,01	3,96	0,71	33,34	24,6	0,166
63	230,55	62	228,94	44,3	3,644	200,7	0,01	1,84	1,06	82,16	14	0,479
64	230,95	63	230,61	45,5	0,748	200,7	0,01	1,5	0,57	37,22	14,8	0,128
65	226,87	75	225,26	102,8	1,62	200,7	0,01	11,97	1,37	53,9	39,1	0,568
66	227,29	65	226,93	59,8	0,50	200,7	0,01	2,15	0,59	33,34	18,1	0,127
67	225,92	79	224,83	96,5	1,131	200,7	0,01	1,5	0,67	45,76	14,1	0,176
67	225,88	68	223,43	98,5	2,487	200,7	0,01	24,58	1,97	67,86	54,4	1,1
68	223,47	78	222,34	97,4	1,163	200,7	0,01	1,5	0,67	46,41	14,1	0,18
68	223,37	69	221,1	100,8	2,256	200,7	0,01	25,2	1,92	64,64	55,7	1,027
69	221,04	70	218,06	101	2,98	200,7	0,01	24,19	2,09	73,91	53,1	1,253
69	221,14	80	220,1	116,4	0,69	200,7	0,01	1,5	0,61	40,72	14,5	0,147
70	219,22	93	218,06	99,1	1,171	298	0,01	1,5	0,64	133,63	8,5	0,167
70	218	71	216,56	99,4	1,449	200,7	0,01	25,73	1,64	51,81	59,3	0,725
71	217,2	82	216,32	101,2	0,873	200,7	0,01	31,81	1,41	40,22	71,8	0,511
71	216,5	72	214,95	101,3	1,49	200,7	0,01	3,76	0,97	53,27	21,7	0,337
72	214,89	73	213,18	89	1,921	200,7	0,01	4,66	1,12	59,65	23,6	0,441
72	214,99	83	214,1	105,6	0,845	200,7	0,01	2,09	0,66	39,55	19,2	0,163
73	213,12	74	211,25	89,6	2,13	200,7	0,01	5,05	1,18	62,16	24,4	0,489
74	211,19	209	208,06	84,4	3,706	200,7	0,01	4,27	1,38	82,86	21,2	0,709
74	211,19	85	210,36	116,6	0,712	200,7	0,01	1,5	0,56	36,31	41,2	0,124
75	225,2	76	224,15	57,8	1,816	200,7	0,01	12,28	1,45	57,99	39,1	0,644
76	224,09	77	221,91	53	4,01	200,7	0,01	12,42	1,95	87,31	36,3	1,23
77	221,85	80	220,06	101,5	1,81	200,7	0,01	16,53	1,56	57,11	45,8	0,711



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
78	222,24	77	221,91	55,7	0,50	200,7	0,01	3,86	0,7	33,34	24,4	0,164
79	224,73	78	222,3	96,4	2,52	200,7	0,01	1,79	0,93	68,32	14,3	0,356
80	220	81	218,29	104,6	1,67	200,7	0,01	18,41	1,57	55,06	48,9	0,702
81	218,23	82	216,28	97,8	1,94	200,7	0,01	17,89	1,67	60,7	59,7	0,809
81	219,1	70	218,06	100	1,04	200,7	0,01	1,5	0,65	43,9	27,4	0,165
82	216,22	83	214,06	102,2	2,118	200,7	0,01	50,87	2,2	62,64	80,3	1,249
83	213,95	84	212,41	87,5	1,752	250,8	0,01	53,92	2,11	103,14	63,4	1,116
84	212,35	85	210,36	90,7	2,00	250,8	0,01	54,54	2,31	115,56	62,1	1,348
85	210,3	86	208,54	73,2	2,56	250,8	0,01	56,45	2,41	120,98	62,6	1,471
86	208,59	87	208,98	66,1	0,50	200,7	0,01	1,79	0,56	33,34	16,6	0,117
86	208,43	157	207,79	106,3	0,50	298	0,01	58,48	1,44	95,65	59,8	0,48
88	229,35	89	227,97	77,8	1,775	200,7	0,01	2,09	0,86	57,34	15,9	0,29
89	227,91	90	226,09	79,9	2,269	200,7	0,01	2,34	0,97	64,83	16,5	0,37
90	226,19	67	225,98	97,9	0,211	200,7	0,01	1,5	0,37	19,79	18,1	0,048
90	226,03	91	221,84	99,3	4,15	200,7	0,01	1,5	1,05	88,49	12,5	0,49
91	224,08	68	223,47	99,5	0,61	200,7	0,01	1,5	0,53	33,62	17,1	0,11
91	221,78	92	219,92	104,7	1,80	200,7	0,01	6,02	1,17	57,27	27,1	0,464
92	219,86	93	218,06	93,4	2,01	200,7	0,01	8,34	1,33	59,82	31,8	0,573
93	219,26	107	218,58	100,4	0,677	298	0,01	1,69	0,55	101,64	9,6	0,116
93	218	94	216,56	103,2	1,395	200,7	0,01	8,95	1,21	50,83	34,1	0,457
94	217,28	71	216,56	98,9	0,728	200,7	0,01	7,58	0,91	36,73	33,6	0,255
94	216,5	95	214	100,4	2,49	200,7	0,01	4	1,17	67,91	28	0,505
95	214	96	210,06	96,9	4,068	200,7	0,01	5,13	1,5	86,8	23,1	0,827
95	215,6	72	214,99	99,9	0,613	200,7	0,01	2,1	0,59	33,68	17,9	0,127



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
96	210	97	208,82	80,1	1,473	200,7	0,01	7,1	1,15	52,23	30,1	0,432
97	208,46	98	207,9	93,6	0,50	200,7	0,01	11,39	0,95	33,34	42,7	0,259
98	209,6	209	208,06	100	1,54	250,8	0,01	1,5	0,72	96,69	10,3	0,214
98	207,84	189	207,03	119,9	0,84	200,7	0,01	10,14	0,96	35,21	39,5	0,27
99	229,01	100	228,7	52,9	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
100	228,64	101	227,98	88,6	0,76	200,7	0,01	1,95	0,62	37	16,9	0,143
101	227,92	102	225,4	92,9	2,719	200,7	0,01	2,65	1,07	70,96	17,2	0,45
102	225,34	103	222,19	97,5	3,20	200,7	0,01	3,35	1,22	77,32	19	0,57
103	222,13	91	221,84	48,3	0,6	200,7	0,01	5,31	0,77	33,34	28,7	0,188
104	222,44	103	222,19	42,6	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
105	220,36	92	219,92	73,4	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
106	218,97	107	218,58	48,7	0,87	200,7	0,01	1,5	0,59	38,41	14,7	0,134
107	218,52	108	216,29	56,6	3,80	200,7	0,01	2,25	1,16	85,35	15,3	0,557
107	218,52	158	216,98	89,3	1,724	298	0,01	1,6	0,75	162,16	8,5	0,232
108	216,23	110	213,61	44,7	5,67	200,7	0,01	4,06	1,59	104,18	19,9	0,988
109	216,67	108	216,29	62,3	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
110	213,55	113	213,37	30,1	0,50	200,7	0,01	5,12	0,76	33,34	28,1	0,185
110	217,45	94	216,56	99,6	0,894	200,7	0,01	1,5	0,61	40,68	14,5	0,147
111	214,21	110	213,61	99,3	0,50	200,7	0,01	1,99	0,58	33,34	17,5	0,122
112	214,51	111	214,27	40,4	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
113	213,31	114	212,88	71,8	0,50	200,7	0,01	5,35	0,77	33,34	28,8	0,189
114	212,82	115	212,23	99,3	0,75	200,7	0,01	3,57	0,69	33,34	23,4	0,158
114	214,86	95	214,06	99,8	0,802	200,7	0,01	2,29	0,67	38,54	18,1	0,163
115	212,17	116	209,17	78	3,89	200,7	0,01	2,36	1,17	84,43	15,7	0,56



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
115	212,38	96	210,07	97,7	2,364	200,7	0,01	1,5	0,86	66,17	13,1	0,313
116	209,11	97	208,52	98,2	0,50	200,7	0,01	4,07	0,71	33,34	25	0,168
117	209,43	116	209,17	44,7	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
118	221,94	119	220,23	89,3	1,918	200,7	0,01	1,5	0,8	59,61	13,4	0,266
119	220,13	120	217,65	90,9	2,726	200,7	0,01	1,93	0,97	71,06	14,7	0,391
120	217,59	123	217,23	60	0,50	200,7	0,01	2,24	0,6	33,34	18,5	0,129
121	221,58	118	221,94	59,7	0,50	200,7	0,01	6	0,8	33,34	30,5	0,198
121	221,58	122	220,04	91,7	1,679	200,7	0,01	1,5	0,76	55,76	13,6	0,24
122	219,98	123	217,23	91,3	2,94	200,7	0,01	2,19	1,05	74,7	15,5	0,447
123	217,17	126	216,85	54	0,50	200,7	0,01	4,91	0,75	33,34	27,5	0,182
124	221,17	121	221,52	58,6	0,50	200,7	0,01	5,12	0,76	33,34	28,1	0,185
124	221,62	125	220,52	91,5	1,207	200,7	0,01	1,5	0,68	47,29	14,1	0,186
125	220,42	126	216,85	91,3	3,78	200,7	0,01	2,36	1,18	85,12	15,7	0,567
126	216,79	129	216,43	59,6	0,50	200,7	0,01	7,9	0,86	33,34	35,2	0,223
127	220,77	124	221,11	57,9	0,50	200,7	0,01	4,22	0,72	33,34	25,5	0,171
127	221,3	128	220,33	93,4	1,043	200,7	0,01	1,5	0,65	43,96	14,2	0,166
128	220,23	129	216,43	93,4	3,87	200,7	0,01	1,97	1,13	86,77	14,3	0,538
129	216,37	132	216,02	58,9	0,50	200,7	0,01	10,39	0,93	33,34	40,6	0,25
130	220,36	127	220,71	57,6	0,50	200,7	0,01	3,17	0,66	33,34	22,1	0,15
130	221,02	131	220,14	92,5	0,951	200,7	0,01	1,5	0,63	41,98	14,4	0,154
131	220,04	132	216,02	92,2	4,11	200,7	0,01	1,95	1,15	89,94	14,1	0,565
132	215,96	137	215,6	59,3	0,6	200,7	0,01	12,73	0,98	33,34	45,3	0,271
133	224,88	134	219,94	63	7,38	200,7	0,01	1,5	1,32	120,55	11,8	0,788
134	219,88	135	219,64	40,8	0,50	200,7	0,01	4,21	0,72	33,34	25,5	0,171



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
134	219,94	130	220,3	59,7	0,50	200,7	0,01	2,2	0,6	33,34	18,3	0,128
135	219,58	140	219,2	62,7	0,50	200,7	0,01	3,08	0,66	33,34	21,7	0,149
135	222	136	220,12	72,2	2,607	200,7	0,01	1,5	0,89	69,49	13	0,337
136	220,02	137	215,6	72,8	5,66	200,7	0,01	1,95	1,3	106,03	20,2	0,728
137	215,54	138	215,35	30,9	0,50	200,7	0,01	15,01	1,03	33,34	49,6	0,289
138	215,29	142	215,08	36,3	0,50	200,7	0,01	15,22	1,03	33,34	49,9	0,291
139	224	140	219,2	105,1	4,18	200,7	0,01	1,5	1,08	91,95	12,4	0,52
140	219,14	144	218,82	53,4	0,50	200,7	0,01	3,86	0,7	33,34	24,4	0,164
140	221	141	220,12	75	1,171	200,7	0,01	1,5	0,67	46,58	14,1	0,181
141	220,02	142	215,08	77	5,95	200,7	0,01	2,13	1,35	109,08	23,1	0,795
142	215,02	146	214,69	53,6	0,50	200,7	0,01	17,99	1,07	33,34	54,8	0,309
143	223,01	144	218,82	111,5	3,35	200,7	0,01	1,5	1,01	83,4	12,6	0,447
144	218,76	145	218,34	69,8	0,91	200,7	0,01	5,99	0,8	33,34	30,4	0,198
145	218,28	146	214,69	70,6	4,82	200,7	0,01	6,46	1,74	96,98	35,6	1,088
146	214,63	149	214,33	50,1	0,50	200,7	0,01	24,82	1,15	33,34	66	0,345
147	222,33	148	219,94	97,3	2,455	200,7	0,01	0,12	0,4	67,44	3,8	0,101
148	219,88	149	214,33	125,6	4,05	200,7	0,01	0,86	0,9	90,46	25,9	0,395
149	214,27	150	213,07	36,7	4,53	200,7	0,01	26,34	2,22	77,92	54,9	1,411
150	213,01	151	211,13	18,8	10	200,7	0,01	26,34	3,33	136,1	49,8	3,412
151	211,07	152	210,77	51,1	0,50	200,7	0,01	26,34	1,17	33,34	68,4	0,351
152	210,71	153	210	117,7	0,50	200,7	0,01	26,34	1,17	33,34	68,4	0,351
153	209,94	154	209,52	70,4	0,50	200,7	0,01	26,36	1,17	33,34	68,4	0,351
154	209,46	155	209,07	64	0,50	200,7	0,01	26,38	1,17	33,34	68,5	0,351
155	209,01	156	208,47	89,8	0,50	200,7	0,01	26,38	1,17	33,34	68,5	0,351



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
156	208,41	157	207,89	68,7	1,08	200,7	0,01	26,38	1,29	37,61	65,7	0,431
157	207,73	214	206,98	116,3	0,79	298	0,01	84,94	1,6	99,09	73,8	0,571
158	216,88	160	216,68	33,8	0,50	200,7	0,01	3,43	0,68	33,34	22,9	0,156
159	218,41	158	216,94	62,2	2,367	200,7	0,01	1,5	0,86	66,21	13,1	0,313
160	216,62	163	215,92	92	0,76	200,7	0,01	6,32	0,88	37,51	30,4	0,244
161	218,94	160	216,68	97,6	2,28	200,7	0,01	2,16	0,96	65,53	15,8	0,363
162	220,95	161	219	96,7	2,013	200,7	0,01	1,5	0,81	61,06	13,3	0,276
163	215,86	164	214,02	47,8	3,73	200,7	0,01	6,73	1,6	84,52	26,6	0,893
164	213,96	166	212,06	114,8	1,70	200,7	0,01	9,15	1,29	55,29	33,9	0,527
165	214,74	164	214,02	119,9	0,55	200,7	0,01	1,51	0,53	33,34	15,2	0,108
166	212	167	209,72	127,4	1,793	200,7	0,01	9,79	1,36	57,63	34,8	0,578
167	209,66	168	208,57	26,1	6,06	200,7	0,01	10,49	1,87	88	33,2	1,157
168	208,51	169	207,16	33,8	2,39	200,7	0,01	10,84	1,85	85,83	34	1,131
169	207,1	170	206,84	43,8	0,75	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
170	206,78	171	206,38	65,8	0,50	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
171	206,32	172	205,75	41,5	1,33	200,7	0,01	10,88	1,27	50,52	37,8	0,492
172	205,69	173	205,36	54,8	0,50	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
173	205,3	174	200,79	98	5,11	200,7	0,01	10,88	1,96	92,31	33,6	1,266
174	200,73	175	200,37	60,9	0,50	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
175	200,31	176	199,81	83,3	1,00	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
176	199,75	177	199,38	61,2	0,60	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
178	199,01	179	198,83	31,5	0,60	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
179	198,77	180	198,37	48,6	0,816	200,7	0,01	10,88	1,05	38,88	40,1	0,325
180	198,31	181	197,39	48,3	1,911	200,7	0,01	10,88	1,43	59,5	36,5	0,637



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
181	197,33	182	197,04	48,7	0,60	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
182	196,98	183	196,31	52,5	1,27	200,7	0,01	10,88	1,24	48,5	38,1	0,461
183	196,25	184	194,84	60,7	1,83	200,7	0,01	10,88	1,53	65,66	35,8	0,744
184	194,78	185	194,32	75,7	0,50	200,7	0,01	10,88	0,94	33,34	41,6	0,254
185	194,26	186	193,63	70,9	4,53	200,7	0,01	10,88	1,09	40,69	39,7	0,35
186	193,57	187	192,89	58,1	0,50	200,7	0,01	10,88	1,2	46,63	38,4	0,434
187	192,83	188	189,88	77,4	2,26	200,7	0,01	10,88	1,83	83,91	34,2	1,093
189	206,97	190	204,77	119,3	1,848	200,7	0,01	10,39	1,4	58,51	35,7	0,608
190	204,71	191	203,1	118,3	1,359	200,7	0,01	10,71	1,26	50,18	37,5	0,484
191	203,04	192	202,44	55,2	1,094	200,7	0,01	11,04	1,18	45,01	39	0,412
192	202,38	193	201,88	82,9	0,6	200,7	0,01	11,39	0,95	33,34	42,7	0,259
193	201,82	194	197,6	123,5	3,46	200,7	0,01	12,17	1,82	79,56	36,5	1,054
194	197,54	196	196,36	53,1	2,216	200,7	0,01	14,62	1,64	64,06	41,9	0,81
195	197,94	194	197,6	56,5	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	18,6	0,108
196	196,3	198	193,76	45,7	5,53	200,7	0,01	16,68	2,37	101,62	41,2	1,774
197	196,67	196	196,36	51,8	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	20,5	0,108
198	193,7	200	193,29	68	0,50	200,7	0,01	18,71	1,08	33,34	56	0,314
199	194,28	198	193,76	87,2	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	22,2	0,108
200	193,23	201	192,79	72,7	0,50	200,7	0,01	18,91	1,09	33,34	56,3	0,315
201	192,73	202	192,31	70	0,50	200,7	0,01	19,12	1,09	33,34	56,7	0,316
202	192,25	203	192,02	38,7	0,50	200,7	0,01	19,33	1,09	33,34	57	0,318
203	191,96	205	191,66	60,7	0,50	200,7	0,01	20,99	1,04	30,43	61,5	0,281
204	195,36	203	192,02	50,3	6,06	200,7	0,01	1,5	1,24	110,98	24	0,693
205	191,6	206	191,27	65,1	0,50	200,7	0,01	21,09	1,04	30,43	61,7	0,281



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
206	191,21	207	190,62	98	0,50	200,7	0,01	21,5	1,12	33,34	60,6	0,33
207	190,95	188	189,82	72,4	1,562	200,7	0,01	1,5	0,74	53,78	32,8	0,227
207	190,56	326	189,78	115,7	1,01	200,7	0,01	20,52	1,16	35,41	58	0,358
188	189,82	334	189,48	68,5	0,5	200,7	0,01	12,48	0,92	30,43	45,9	0,232
209	210,09	87	209,08	65,3	1,548	200,7	0,01	1,5	0,74	53,54	13,7	0,225
209	208	210	207,34	74,7	0,877	200,7	0,01	4,68	0,85	40,31	25,7	0,24
210	207,24	211	206,09	71,9	1,604	200,7	0,01	4,84	1,06	54,51	24,5	0,39
211	206,03	212	205,32	119,1	0,50	200,7	0,01	4,99	0,76	33,34	27,7	0,183
212	205,26	213	204,87	65,2	0,50	200,7	0,01	5,15	0,76	33,34	28,2	0,186
213	204,81	216	204,12	103,4	0,84	200,7	0,01	5,25	0,8	35	34,2	0,202
214	206,92	215	205,33	80,5	1,981	298	0,01	85	2,48	173,83	62,8	1,463
215	205,27	216	204,02	80,2	1,552	298	0,01	85	2,26	153,82	64,7	1,199
216	203,96	217	202,35	74,7	2,163	298	0,01	90,3	2,6	181,62	64,2	1,607
217	202,55	218	201,54	61,7	1,638	200,7	0,01	6	1,14	55,08	27,3	0,436
217	202,29	224	200,51	106,9	1,663	298	0,01	84,38	2,32	159,23	63,9	1,265
218	201,44	219	201,03	62,1	0,655	200,7	0,01	6,04	0,83	34,84	30,3	0,213
219	200,97	220	200,59	42,8	0,886	200,7	0,01	4,87	0,87	40,51	26,2	0,246
219	201,07	227	199,07	94	2,128	200,7	0,01	1,5	0,83	62,78	13,3	0,288
220	200,53	221	200,28	41,2	0,50	200,7	0,01	3,74	0,7	33,34	24	0,162
220	200,69	229	198,78	63,2	3,014	200,7	0,01	1,5	0,94	74,71	12,8	0,377
221	200,22	222	199,36	56,9	1,58	200,7	0,01	3,1	0,91	52,97	19,7	0,307
221	200,62	231	196,96	119,5	3,064	200,7	0,01	1,5	0,94	75,34	12,8	0,382
222	199,3	223	197,19	91,2	2,82	200,7	0,01	2,34	0,98	65,55	16,4	0,376
222	199,46	234	196,81	95,9	2,764	200,7	0,01	1,5	0,91	71,55	12,9	0,353



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
223	197,13	237	195,81	61,9	1,69	200,7	0,01	2,52	0,97	62,83	17,2	0,364
224	200,45	225	199,35	107,7	1,019	298	0,01	84,54	1,92	124,65	68,3	0,845
225	199,33	226	197,38	61,7	3,157	200,7	0,01	35,88	2,38	76,46	64,6	1,545
225	199,29	255	197,7	78,6	2,021	298	0,01	48,81	2,15	175,57	46,8	1,192
226	197,28	228	196,73	62,5	0,878	200,7	0,01	35,92	1,44	40,33	77,3	0,529
227	198,93	228	196,73	93,9	2,336	200,7	0,01	2,04	0,94	65,77	21,6	0,356
228	196,62	232	194,99	108,7	1,45	250,8	0,01	38,49	1,83	95,39	53,9	0,864
229	198,68	230	197,27	63,8	2,217	200,7	0,01	1,93	0,91	64,08	15	0,333
230	197,21	231	196,92	49,1	0,50	200,7	0,01	2,24	0,6	33,34	18,5	0,129
231	196,9	232	195,04	50,3	3,699	200,7	0,01	1,5	1,01	82,77	23,1	0,44
231	196,86	234	196,51	57,8	0,50	200,7	0,01	3,14	0,66	33,34	21,9	0,15
232	194,93	235	194,46	78,7	0,50	250,8	0,01	42,09	1,32	60,36	64,1	0,423
233	195,55	232	195,04	84,8	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	22,1	0,108
234	196,45	236	195,97	79,6	0,50	200,7	0,01	5,69	0,79	33,34	29,7	0,194
235	194,4	238	193,98	70,8	0,50	250,8	0,01	42,6	1,32	60,36	64,5	0,424
236	195,91	237	195,81	17,1	3,24	200,7	0,01	6,16	0,8	33,34	30,9	0,201
237	195,75	239	193,85	51,2	2,48	200,7	0,01	8,7	1,7	82,94	30,5	0,972
238	193,92	239	193,8	19,9	0,50	250,8	0,01	42,95	1,33	60,36	64,8	0,425
239	193,74	396	192,43	65,6	1,992	250,8	0,01	51,66	2,19	109,99	61,1	1,219
240	191,11	241	190,78	54,8	0,50	250,8	0,01	51,68	1,37	60,36	72,6	0,448
241	190,67	242	190,47	40,7	0,50	298	0,01	51,68	1,3	87,32	57,3	0,396
242	190,41	243	190,1	51,5	0,50	298	0,01	51,68	1,4	95,65	55,8	0,46
243	190,04	244	189,34	116,2	0,50	298	0,01	51,68	1,4	95,65	55,8	0,46
244	189,28	245	188,65	62,3	0,50	298	0,01	51,68	1,71	124,92	52,1	0,709



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
245	188,59	246	188,13	69,5	0,50	298	0,01	51,68	1,44	99,67	55,2	0,492
246	188,07	247	183,37	58,7	8,45	298	0,01	51,7	3,59	349,83	42,6	3,621
247	183,31	248	182,97	56,4	1,56	298	0,01	51,74	1,4	95,65	55,8	0,46
248	182,91	249	182,52	78,4	0,50	298	0,01	51,78	1,31	87,32	57,4	0,396
249	182,46	250	182,09	61,5	1,50	298	0,01	51,8	1,4	95,65	55,9	0,46
250	182,03	251	181,72	35	0,873	298	0,01	51,8	1,61	115,36	53,2	0,624
251	181,66	252	180,2	49,7	2,942	298	0,01	51,8	2,51	211,83	46,5	1,646
252	180,14	253	179,74	79,1	0,50	298	0,01	51,8	1,31	87,32	57,4	0,396
253	179,68	254	178,58	84,4	1,305	298	0,01	51,8	1,87	141,06	50,6	0,862
254	178,52	271	177,37	34,6	3,33	298	0,01	51,8	2,62	225,35	61,6	1,813
255	197,64	256	196,15	78,2	1,915	298	0,01	48,93	2,11	170,89	47,1	1,144
256	196,09	257	193,88	119,9	1,842	298	0,01	49,2	2,09	167,61	47,4	1,111
257	193,82	258	191,08	116,1	2,361	298	0,01	49,51	2,29	189,73	46,4	1,356
258	191,02	259	188,58	119,2	2,04	298	0,01	49,71	2,17	176,37	47,2	1,21
259	188,52	260	186,83	107,4	1,575	298	0,01	49,94	1,98	155	48,6	0,987
260	186,77	261	184,97	118,2	1,523	298	0,01	50,16	1,96	152,39	48,9	0,962
261	184,91	262	183,26	116,9	1,414	298	0,01	50,23	1,91	146,82	49,4	0,908
262	183,2	263	182,13	115,8	0,922	298	0,01	50,27	1,63	118,56	51,9	0,644
263	182,07	264	181,28	98,8	0,805	298	0,01	50,33	1,55	110,82	52,9	0,578
264	181,22	265	180,66	93,1	0,60	298	0,01	50,37	1,39	95,65	55	0,455
265	180,6	266	179,9	117,3	0,60	298	0,01	50,39	1,39	95,65	55	0,456
266	179,84	267	179,5	55,4	0,60	298	0,01	50,49	1,39	95,65	55,1	0,456
267	179,44	268	178,71	121,5	0,60	298	0,01	50,62	1,39	95,65	55,2	0,456
268	178,65	269	178,01	106,7	0,60	298	0,01	50,78	1,39	95,65	55,3	0,457



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
269	177,95	270	177,62	56,3	0,60	298	0,01	50,9	1,39	95,65	55,3	0,457
270	177,56	271	177,37	30,9	0,60	298	0,01	50,92	1,39	95,65	61,3	0,457
271	177,31	272	176,9	26,9	1,518	298	0,01	104,62	2,35	152,12	72,5	1,264
272	176,78	273	176,36	69,1	0,60	364,2	0,01	104,62	1,66	163,32	62	0,597
273	176,3	274	175,85	75,5	0,60	364,2	0,01	104,62	1,66	163,32	62	0,597
274	175,79	282	175,47	53,7	0,60	364,2	0,01	107,64	1,67	163,32	63,1	0,602
275	177,23	274	176,01	19,2	6,338	200,7	0,01	3,02	1,5	108,34	17,1	0,92
276	177,76	275	177,29	32,9	1,424	200,7	0,01	3,02	0,89	51,35	19,6	0,289
277	178,43	276	177,82	39,8	1,55	200,7	0,01	3,02	0,91	53,58	19,4	0,308
278	178,88	277	178,49	44,2	0,874	200,7	0,01	1,52	0,61	40,24	14,6	0,145
279	179,46	278	178,94	44,3	1,18	200,7	0,01	1,5	0,68	46,76	14,1	0,182
280	179,35	277	178,49	29,2	2,943	200,7	0,01	1,5	0,93	73,84	12,9	0,37
281	180,49	280	179,41	90,4	1,187	200,7	0,01	1,5	0,68	46,89	14,1	0,183
282	175,41	283	174,88	87,6	0,60	364,2	0,01	107,64	1,67	163,32	63,1	0,602
283	174,82	284	174,63	31,2	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
284	174,57	285	174,17	67,9	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
285	174,11	286	173,69	68,8	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
286	173,63	287	173,15	58,1	0,831	364,2	0,01	112,32	1,92	192,16	61,6	0,8
287	173,09	288	172,63	76,8	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
288	172,57	289	170,59	42	4,73	364,2	0,01	112,32	3,64	458,54	51	3,235
289	170,53	290	170,14	64	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
290	170,08	291	167,29	41	6,828	364,2	0,01	112,32	4,15	550,94	49,5	4,321
291	167,23	292	166,88	58,3	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
292	166,82	293	166,48	55,4	0,50	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
293	166,42	294	166,13	48,7	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
294	166,07	295	165,78	49,3	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
295	165,72	296	165,39	53,9	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
296	165,33	297	164,96	62,4	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
297	164,9	298	164,55	57,5	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
298	164,49	299	163,92	95	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
299	163,86	300	163,3	93,6	0,60	364,2	0,01	112,32	1,69	163,32	64,6	0,611
300	163,24	301	156,61	107	6,201	364,2	0,01	112,32	4,01	525,04	84,2	4,005
301	156,55	302	156,16	64,3	0,60	364,2	0,01	112,32	1,08	163,32	100	0,611
303	177,22	283	175,04	111,1	1,959	200,7	0,01	4,68	1,13	60,24	23,6	0,449
304	177,43	303	177,28	22,9	0,668	200,7	0,01	4,68	0,77	35,18	26,5	0,194
305	177,74	304	177,49	41,2	0,60	200,7	0,01	4,64	0,74	33,34	26,7	0,178
306	178,19	305	177,8	64,8	0,60	200,7	0,01	4,6	0,74	33,34	26,6	0,177
307	178,89	306	178,25	57,4	1,112	200,7	0,01	3,04	0,82	45,38	20,1	0,239
308	179,14	307	178,95	31,5	0,60	200,7	0,01	3,02	0,65	33,34	21,5	0,147
309	179,41	308	179,2	35,6	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
310	178,65	306	178,25	67,3	0,55	200,7	0,01	1,52	0,53	33,34	15,3	0,109
311	180,3	308	179,2	68,4	1,613	200,7	0,01	1,5	0,75	54,65	13,6	0,233
311	180,3	310	178,75	77,3	2,001	200,7	0,01	1,5	0,81	60,88	13,4	0,275
312	180,91	311	180,36	65,2	0,843	200,7	0,01	3	0,74	39,52	20,6	0,191
312	180,37	313	179,55	82,7	1,03	200,7	0,01	1,73	0,66	42,89	15,4	0,17
313	179,49	314	178,93	45,7	1,213	200,7	0,01	1,89	0,73	47,41	15,7	0,207
314	178,87	271	177,47	44,3	2,91	200,7	0,01	1,91	1,02	76,59	32,1	0,437
315	180,65	312	180,43	37,1	0,50	200,7	0,01	4,56	0,74	33,34	26,5	0,176



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
316	178,09	350	177,85	39,4	0,50	200,7	0,01	21,77	1,12	33,34	61,1	0,331
316	181,5	315	180,72	67,1	1,163	200,7	0,01	4,5	0,93	46,4	24,4	0,294
317	178,79	316	178,15	107	0,50	200,7	0,01	26,25	1,17	33,34	68,2	0,351
318	182,62	317	178,85	54,7	6,881	200,7	0,01	0,02	0,32	112,89	20,8	0,1
319	180,88	317	178,85	74,3	2,724	200,7	0,01	26,19	2,08	71,02	55,8	1,213
320	183,19	319	180,94	32,7	6,894	200,7	0,01	0,02	0,32	113	20,7	0,1
321	183,74	319	180,94	119,7	2,72	200,7	0,01	25,99	1,96	65,83	56,4	1,071
322	184,5	321	183,8	117,2	0,50	200,7	0,01	25,8	1,16	33,34	67,5	0,349
323	185,26	322	184,56	116,9	0,50	200,7	0,01	25,55	1,16	33,34	67,1	0,348
324	185,5	323	185,32	30	0,50	200,7	0,01	25,33	1,16	33,34	66,8	0,347
325	186,12	324	185,56	92,2	0,50	200,7	0,01	25,27	1,16	33,34	66,7	0,347
326	189,72	325	186,18	98,9	3,47	200,7	0,01	20,66	2,15	81,45	47,9	1,37
327	186,6	325	186,18	70,4	0,50	200,7	0,01	4,56	0,74	33,34	33,2	0,176
328	187,05	327	186,66	65,9	0,55	200,7	0,01	1,5	0,53	33,34	15,2	0,108
329	188,14	327	186,66	52,9	2,802	200,7	0,01	3,06	1,13	72,04	18,5	0,492
330	188,57	329	188,2	47	0,792	200,7	0,01	1,52	0,59	38,29	14,8	0,135
331	188,92	329	188,2	56,3	1,274	200,7	0,01	1,52	0,7	48,57	14	0,194
332	190,5	331	188,98	97,4	1,567	200,7	0,01	1,5	0,74	53,88	13,7	0,227
334	189,42	335	188,51	56,4	0,92	200,7	0,01	12,48	1,4	54,81	39,8	0,593
335	188,45	336	186,37	95,4	1,84	200,7	0,01	12,48	1,56	63,45	38,7	0,747
336	186,31	337	183,65	26,6	6,74	200,7	0,01	12,48	2,68	136,1	33,9	2,469
337	183,59	338	183,16	10,7	3,33	200,7	0,01	12,48	1,94	86,45	36,5	1,214
338	183,1	339	182,9	33,4	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
339	182,84	340	182,55	48,7	0,53	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
340	182,49	341	182,25	40	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
341	182,19	342	181,62	94,2	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
342	181,56	343	181,37	32,2	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
343	181,31	344	180,89	70,5	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
344	180,83	345	180,67	26	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
345	180,61	346	180,22	64,4	0,74	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
346	180,16	347	179,99	29,2	1,80	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
347	179,93	348	179,29	105,6	2,44	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
348	179,23	349	178,96	46,4	0,50	200,7	0,01	12,48	0,98	33,34	44,8	0,269
349	178,9	354	175,83	40,7	0,65	200,7	0,01	12,48	2,43	118,18	34,6	1,98
350	177,79	351	177,25	90,5	0,50	200,7	0,01	21,79	1,12	33,34	61,1	0,331
351	177,19	352	176,69	83,2	0,50	200,7	0,01	21,81	1,12	33,34	61,1	0,331
352	176,63	353	176,09	89,8	0,50	200,7	0,01	21,87	1,12	33,34	61,2	0,331
353	176,03	354	175,83	33,9	0,50	200,7	0,01	21,95	1,12	33,34	61,3	0,332
354	175,72	355	175,59	21,7	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
355	175,53	356	175,18	57,8	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
356	175,12	357	174,83	48,6	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
357	174,77	358	174,57	33,4	1,86	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
358	174,51	359	174,28	38,9	2,72	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
359	174,22	360	173,87	58	0,93	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
360	173,81	361	173,57	39,5	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
361	173,51	362	173,37	23,9	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
362	173,31	363	173,17	22,8	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
363	173,11	364	173	18,8	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
364	172,94	365	172,76	29,5	0,50	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
365	172,7	366	172,29	47,1	0,50	250,8	0,01	34,45	1,45	72,54	54,3	0,532
366	172,23	367	171,93	21,3	0,50	250,8	0,01	34,45	1,74	92,5	51,2	0,787
367	171,87	368	171,56	51,5	0,60	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
368	171,5	369	171,16	18,9	1,798	250,8	0,01	34,45	1,9	104,48	49,8	0,957
369	171,1	370	170,93	28,1	0,60	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
370	170,87	371	169,77	27,7	3,977	250,8	0,01	34,45	2,53	155,41	46	1,796
371	169,71	372	169,43	40,7	0,705	250,8	0,01	34,45	1,34	65,43	55,8	0,45
372	169,37	373	169,31	11,9	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
373	169,25	374	169,11	28	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
374	169,05	375	168,93	23,5	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
375	168,87	376	168,74	25,9	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
376	168,68	377	168,4	56	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
377	168,34	378	168,2	28,3	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
378	168,14	379	168	27,9	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
379	167,94	380	167,68	52,5	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
380	167,62	381	167,31	51,8	0,60	250,8	0,01	34,45	1,26	60,36	57,1	0,395
381	167,25	382	166,63	84,7	0,722	250,8	0,01	34,45	1,35	66,21	55,6	0,459
382	166,57	383	166,23	68,2	0,50	250,8	0,01	34,45	1,18	55,1	58,7	0,34
383	166,17	384	165,43	53,4	1,394	250,8	0,01	34,45	1,73	92,02	51,2	0,781
384	165,37	385	164,17	67,6	1,767	250,8	0,01	34,45	1,88	103,58	49,9	0,944
385	164	386	163,32	112,6	0,60	364,2	0,01	146,77	1,77	163,32	76	0,657
386	163,26	387	162,57	114,9	0,60	364,2	0,01	146,77	1,77	163,32	76	0,657
387	162,43	388	161,85	115,5	0,50	447,2	0,01	146,77	1,69	257,75	57,1	0,586
388	161,79	389	161,24	110,1	0,50	447,2	0,01	146,77	1,69	257,75	57,1	0,586



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
389	161,18	390	160,59	117,8	0,50	447,2	0,01	146,77	1,69	257,75	57,1	0,586
390	160,53	391	159,89	107,2	0,60	447,2	0,01	146,77	1,82	282,36	55,7	0,68
391	159,83	392	155,56	120	3,557	447,2	0,01	146,77	3,48	687,52	45,8	2,819
392	155,5	393	152,16	118,4	2,821	447,2	0,01	146,77	3,2	612,29	46,8	2,348
393	152,1	0-1	150,25	73,1	2,528	447,2	0,01	146,77	3,08	579,53	47,2	2,152
177	199,32	178	199,07	49,1	0,5	200,7	0,01	10,88	0,88	30,43	42,6	0,22
396	192,37	240	191,17	68	1,765	250,8	0,01	51,66	2,1	103,53	61,9	1,105

## 18.1.2. Opción 2. Alcantarillado sanitario

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
1	309,77	2	307,18	75,3	3,427	200,7	0,01	1,5	0,98	79,67	12,7	0,415
2	307,12	3	302,7	116,1	3,809	200,7	0,01	1,64	1,04	83,99	13,1	0,471
3	302,64	4	300,48	57,6	3,76	200,7	0,01	1,83	1,07	83,46	13,9	0,49
4	300,42	5	295,66	119,5	3,981	200,7	0,01	2,03	1,13	85,86	14,6	0,536
5	295,6	6	291,82	99,7	3,79	200,7	0,01	3,92	1,35	83,79	20,3	0,694
6	291,76	7	288,14	97,2	3,732	200,7	0,01	4,25	1,38	83,14	21,2	0,711
7	288,08	8	283,76	110,4	3,906	200,7	0,01	11,24	1,86	85,06	34,6	1,131
8	283,7	9	278,35	109,6	4,884	200,7	0,01	11,26	2,02	95,11	34	1,347
9	278,29	10	276,14	45,8	4,702	200,7	0,01	17,86	2,27	93,32	43,3	1,597
10	276,08	11	272,23	79	4,874	200,7	0,01	24,17	2,51	95,01	50,5	1,867
11	272,17	12	267,81	115,2	3,784	200,7	0,01	24,36	2,3	83,72	52	1,531
12	267,75	13	263,25	118,8	3,794	200,7	0,01	24,4	2,3	83,83	52	1,535
13	263,19	14	258,41	118,1	4,042	200,7	0,01	24,4	2,35	86,52	51,7	1,616
14	258,35	15	253,36	117,7	4,239	200,7	0,01	24,4	2,39	88,61	51,5	1,678
15	253,3	16	249,45	117,9	3,263	200,7	0,01	24,52	2,18	77,74	52,9	1,364
16	249,39	17	245,36	115	3,505	200,7	0,01	24,67	2,24	80,58	52,7	1,448
17	245,3	49	242,34	100,5	2,952	200,7	0,01	24,75	2,1	73,94	53,7	1,266
18	304,88	19	302,74	68,1	3,145	200,7	0,01	1,91	1,02	76,32	14,4	0,435
18	304,78	23	301,48	91,5	3,61	200,7	0,01	2,1	1,1	81,77	15	0,505
19	302,68	20	298,79	68,4	5,69	200,7	0,01	2,28	1,33	102,66	15	0,746
20	298,77	21	295,36	64,6	5,286	200,7	0,01	1,5	1,14	98,94	12,2	0,582
20	298,73	25	296,24	92,7	2,683	200,7	0,01	1,5	0,9	70,5	13	0,345



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
21	295,26	22	292,41	64,4	4,421	200,7	0,01	1,85	1,14	90,49	13,8	0,558
22	292,35	27	290,72	95,5	1,705	200,7	0,01	2,13	0,85	56,19	16,1	0,284
23	301,42	24	298,37	74,9	4,071	200,7	0,01	2,57	1,22	86,84	16,3	0,607
24	298,35	25	296,24	60,8	3,472	200,7	0,01	1,54	0,99	80,19	12,8	0,427
24	298,31	5	295,66	100,9	2,625	200,7	0,01	1,5	0,89	69,73	13	0,339
25	296,18	26	293,59	66,3	3,906	200,7	0,01	3,76	1,36	85,05	19,8	0,696
26	293,53	27	290,72	66,7	4,215	200,7	0,01	4,19	1,43	88,36	20,8	0,776
27	290,66	7	288,14	102,2	2,472	200,7	0,01	6,72	1,37	67,67	27,8	0,632
28	303,34	30	301,14	45,5	4,839	200,7	0,01	1,73	1,16	94,67	13,2	0,58
29	303,76	28	303,4	65,3	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
30	301,08	32	298,8	43,2	5,296	200,7	0,01	3,56	1,48	99,04	18,8	0,861
31	301,43	30	301,14	53	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
32	298,74	34	298,63	36,6	0,50	200,7	0,01	5,27	0,6	23,57	31,2	0,109
33	299,08	32	298,8	51,8	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
34	298,57	35	291,91	104,9	6,34	200,7	0,01	5,45	1,79	108,36	23	1,199
35	291,85	38	290,83	18,8	5,437	200,7	0,01	7,1	1,83	100,35	26,6	1,197
36	293,48	35	291,91	26,8	5,86	200,7	0,01	1,54	1,19	104,18	12,3	0,637
37	294,71	36	293,54	40,4	2,891	200,7	0,01	1,5	0,92	73,18	12,9	0,365
38	290,77	39	289,28	36,3	4,109	200,7	0,01	7,14	1,66	87,23	27,4	0,966
39	289,22	40	289,13	36,9	0,50	200,7	0,01	7,18	0,61	21,52	37,6	0,107
40	289,07	41	286,57	106,8	2,25	200,7	0,01	7,36	1,37	65,87	29,2	0,63
41	286,51	42	283,71	70,7	3,95	200,7	0,01	7,59	1,67	85,53	28,3	0,961
42	283,75	43	282,62	60,8	1,865	200,7	0,01	1,5	0,79	58,78	13,5	0,261
42	283,65	9	278,35	123	4,31	200,7	0,01	6,42	1,64	89,35	25,8	0,955

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
43	282,46	45	280,99	50,1	2,94	200,7	0,01	3,25	1,17	73,8	18,9	0,523
44	283,69	43	282,52	35,4	2,25	200,7	0,01	1,5	0,96	78,39	12,7	0,407
45	280,93	46	279,34	50,7	3,145	200,7	0,01	3,43	1,21	76,32	19,3	0,567
46	279,28	48	278,2	99,2	1,083	200,7	0,01	5,53	0,96	44,78	27,3	0,304
47	279,58	46	279,34	43,2	0,561	200,7	0,01	1,5	0,52	32,22	15,3	0,102
48	278,14	10	276,14	104,8	1,909	200,7	0,01	6	1,21	59,47	34,5	0,491
49	242,28	50	239,81	84,2	2,926	200,7	0,01	24,93	2,1	73,62	54	1,261
50	239,75	51	236,37	110	3,07	200,7	0,01	25,12	2,14	75,41	53,9	1,314
51	236,31	52	232,98	109,5	3,05	200,7	0,01	25,49	2,14	75,16	54,4	1,315
52	232,92	53	230,57	85	2,765	200,7	0,01	25,94	2,08	71,57	55,4	1,223
53	230,51	54	228,99	49,3	3,069	200,7	0,01	24,91	2,14	75,4	53,7	1,309
53	230,61	62	228,98	105,1	1,549	200,7	0,01	1,5	0,74	53,56	13,7	0,225
54	228,93	67	225,94	97,9	3,051	200,7	0,01	24,01	2,12	75,18	52,6	1,282
54	229,03	66	227,39	116,4	1,412	200,7	0,01	1,5	0,72	51,15	13,8	0,21
55	241,67	56	238,53	77	4,071	200,7	0,01	1,5	1,04	86,83	12,5	0,475
56	238,47	57	235,6	79,9	3,598	200,7	0,01	1,87	1,06	81,64	14,1	0,478
57	235,54	59	231,99	117,1	3,024	200,7	0,01	4,09	1,27	74,84	21,2	0,593
58	236,89	57	235,6	83	1,559	200,7	0,01	1,5	0,74	53,74	13,7	0,226
59	231,93	60	230,37	55,7	2,813	200,7	0,01	4,71	1,29	72,18	22,9	0,597
60	230,31	61	228,61	53,5	3,36	200,7	0,01	5,02	1,37	76,61	23,4	0,674
61	228,55	65	227,02	56,7	2,56	200,7	0,01	9,37	1,55	70,75	32,6	0,783
62	228,88	61	228,61	74,6	0,50	200,7	0,01	3,96	0,59	25,71	26,3	0,11
63	230,55	62	228,94	44,3	3,644	200,7	0,01	1,84	1,06	82,16	14	0,479
64	230,95	63	230,61	45,5	0,748	200,7	0,01	1,5	0,57	37,22	14,8	0,128



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
65	226,96	75	225,26	102,8	1,656	200,7	0,01	11,97	1,4	55,38	38,9	0,592
66	227,29	65	227,02	59,8	0,50	200,7	0,01	2,15	0,53	28,87	18,8	0,101
67	225,92	79	224,83	96,5	1,131	200,7	0,01	1,5	0,67	45,76	14,1	0,176
67	225,88	68	223,43	98,5	2,487	200,7	0,01	24,58	1,97	67,86	54,4	1,1
68	223,47	78	222,34	97,4	1,163	200,7	0,01	1,5	0,67	46,41	14,1	0,18
68	223,37	69	221,1	100,8	2,256	200,7	0,01	25,2	1,92	64,64	55,7	1,027
69	221,04	70	218,06	101	2,95	200,7	0,01	24,19	2,09	73,91	53,1	1,253
69	221,14	80	220,1	116,4	0,895	200,7	0,01	1,5	0,61	40,72	14,5	0,147
70	219,22	93	218,06	99,1	1,171	298	0,01	27,84	1,51	133,63	36,9	0,612
70	218	71	216,56	99,4	1,449	200,7	0,01	25,73	1,64	51,81	59,3	0,725
71	217,2	82	216,32	101,2	0,873	200,7	0,01	31,81	1,41	40,22	71,8	0,511
71	216,5	72	214,95	101,3	1,49	200,7	0,01	3,76	0,97	53,27	21,7	0,337
72	214,89	73	213,18	89	1,921	200,7	0,01	4,66	1,12	59,65	23,6	0,441
72	214,99	83	214,1	105,6	0,845	200,7	0,01	2,09	0,66	39,55	17,2	0,163
73	213,12	74	211,25	89,6	2,13	200,7	0,01	5,05	1,18	62,16	24,4	0,489
74	211,19	209	208,06	84,4	3,706	200,7	0,01	4,27	1,38	82,86	21,2	0,709
74	211,19	85	210,36	116,6	0,712	200,7	0,01	1,5	0,56	36,31	36,3	0,124
75	225,2	76	224,15	57,8	1,816	200,7	0,01	12,28	1,45	57,99	39,1	0,644
76	224,09	77	222,04	53	4,01	200,7	0,01	12,42	1,91	84,48	36,5	1,168
77	221,98	80	220,06	101,5	1,81	200,7	0,01	16,53	1,6	59,29	45,4	0,755
78	222,24	77	222,04	55,7	0,50	200,7	0,01	3,86	0,58	25,46	26	0,108
79	224,73	78	222,3	96,4	2,52	200,7	0,01	1,79	0,93	68,32	14,3	0,356
80	220	81	214,41	104,6	1,67	200,7	0,01	18,41	2,4	99,46	43,5	1,789
81	214,3	82	214,1	97,8	1,94	250,8	0,01	17,89	0,71	34,85	46,7	0,127

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
81	219,1	70	218,06	100	1,04	200,7	0,01	27,84	1,47	43,9	64,8	0,568
82	213,93	83	213,73	102,2	2,11	364,2	0,01	50,87	0,92	94,29	48,8	0,187
83	213,67	84	212,3	87,5	1,75	364,2	0,01	53,92	1,99	263,51	38,6	0,99
84	212,24	85	210,36	90,7	2,00	364,2	0,01	54,54	2,21	303,62	37,8	1,244
85	210,3	86	208,49	73,2	2,56	364,2	0,01	56,45	2,38	331,68	37,8	1,449
86	208,65	87	208,98	66,1	0,5	200,7	0,01	1,79	0,53	30,43	16,9	0,101
86	208,43	157	208,22	106,3	0,50	364,2	0,01	58,48	0,95	94,29	52,8	0,197
88	229,35	89	227,97	77,8	1,775	200,7	0,01	2,09	0,86	57,34	15,9	0,29
89	227,91	90	226,09	79,9	2,269	200,7	0,01	2,34	0,97	64,83	16,5	0,37
90	226,19	67	225,98	97,9	0,211	200,7	0,01	1,5	0,37	19,79	18,1	0,048
90	226,03	91	222	99,3	4,15	200,7	0,01	1,5	1,04	86,72	12,5	0,475
91	224,08	68	223,47	99,5	0,61	200,7	0,01	1,5	0,53	33,62	17,1	0,11
91	221,94	92	219,96	104,7	1,80	200,7	0,01	6,02	1,2	59,23	26,9	0,489
92	219,9	93	218,06	93,4	2,01	200,7	0,01	8,34	1,34	60,43	31,7	0,582
93	219,26	107	218,58	100,4	0,677	298	0,01	28,03	1,24	101,64	39,5	0,398
93	218	94	216,56	103,2	1,395	200,7	0,01	8,95	1,21	50,83	34,1	0,457
94	217,28	71	216,56	98,9	0,728	200,7	0,01	7,58	0,91	36,73	33,6	0,255
94	216,5	95	214	100,4	2,49	200,7	0,01	4	1,17	67,91	28	0,505
95	214	96	210,06	96,9	4,068	200,7	0,01	5,13	1,5	86,8	23,1	0,827
95	215,6	72	214,99	99,9	0,613	200,7	0,01	2,1	0,59	33,68	17,9	0,127
96	210	97	208,82	80,1	1,473	200,7	0,01	7,1	1,15	52,23	30,1	0,432
97	208,72	98	208,54	93,6	0,50	200,7	0,01	11,39	0,63	19,25	50,2	0,107
98	209,6	209	208,06	100	1,54	200,7	0,01	1,5	0,72	96,69	10,3	0,214
98	208,48	189	207,03	119,9	0,89	200,7	0,01	10,14	1,19	47,24	36,9	0,43



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
99	229,01	100	228,72	52,9	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
100	228,66	101	227,98	88,6	0,769	200,7	0,01	1,95	0,63	37,74	16,8	0,147
101	227,92	102	225,4	92,9	2,719	200,7	0,01	2,65	1,07	70,96	17,2	0,45
102	225,34	103	222,21	97,5	3,206	200,7	0,01	3,35	1,22	77,05	19	0,567
103	222,15	91	222	48,3	0,50	200,7	0,01	5,31	0,6	23,57	31,3	0,109
104	222,44	103	222,21	42,6	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
105	220,36	92	219,96	73,4	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
106	218,97	107	218,58	48,7	0,87	200,7	0,01	1,5	0,59	38,41	14,7	0,134
107	218,52	108	216,32	56,6	3,80	200,7	0,01	2,25	1,15	84,75	15,4	0,551
107	218,52	158	216,98	89,3	1,724	298	0,01	27,94	1,74	162,16	35,5	0,831
108	216,26	110	213,73	44,7	5,662	200,7	0,01	4,06	1,57	102,41	20	0,962
109	216,67	108	216,32	62,3	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
110	213,67	113	213,58	30,1	0,50	200,7	0,01	5,12	0,59	23,57	30,7	0,108
110	217,45	94	216,56	99,6	0,894	200,7	0,01	1,5	0,61	40,68	14,5	0,147
111	214,23	110	213,73	99,3	0,5	200,7	0,01	1,99	0,54	30,43	17,8	0,106
112	214,51	111	214,29	40,4	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
113	213,52	114	213,31	71,8	0,50	200,7	0,01	5,35	0,6	23,57	31,4	0,109
114	213,25	115	212,29	99,3	0,75	200,7	0,01	3,57	0,81	42,33	22,2	0,23
114	214,86	95	214,06	99,8	0,802	200,7	0,01	2,29	0,67	38,54	18,1	0,163
115	212,23	116	209,19	78	3,898	200,7	0,01	2,36	1,17	84,97	15,7	0,565
115	212,38	96	210,07	97,7	2,364	200,7	0,01	1,5	0,86	66,17	13,1	0,313
116	209,13	97	208,78	98,2	0,50	200,7	0,01	4,07	0,59	25,46	26,7	0,11
117	209,43	116	209,19	44,7	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
118	221,94	119	220,23	89,3	1,918	200,7	0,01	1,5	0,8	59,61	13,4	0,266



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
119	220,13	120	217,65	90,9	2,726	200,7	0,01	1,93	0,97	71,06	14,7	0,391
120	217,59	123	217,32	60	0,45	200,7	0,01	2,24	0,54	28,87	19,1	0,103
121	221,76	118	221,94	59,7	0,30	200,7	0,01	6	0,62	23,57	33,3	0,115
121	221,58	122	220,04	91,7	1,679	200,7	0,01	1,5	0,76	55,76	13,6	0,24
122	219,98	123	217,32	91,3	2,914	200,7	0,01	2,19	1,04	73,47	15,5	0,436
123	217,26	126	217,1	54	0,3	200,7	0,01	4,91	0,59	23,57	30,1	0,106
124	221,53	121	221,7	58,6	0,30	200,7	0,01	5,12	0,59	23,57	30,7	0,108
124	221,62	125	220,52	91,5	1,207	200,7	0,01	1,5	0,68	47,29	14,1	0,186
125	220,42	126	217,1	91,3	3,636	200,7	0,01	2,36	1,15	82,07	15,8	0,536
126	217,04	129	216,89	59,6	0,25	200,7	0,01	7,9	0,63	21,52	39,6	0,111
127	221,27	124	221,47	57,9	0,35	200,7	0,01	4,22	0,59	25,46	27,2	0,112
127	221,3	128	220,33	93,4	1,043	200,7	0,01	1,5	0,65	43,96	14,2	0,166
128	220,23	129	216,89	93,4	3,572	200,7	0,01	1,97	1,08	81,33	20,3	0,486
129	216,83	132	216,71	58,9	0,2	200,7	0,01	10,39	0,62	19,25	47,6	0,103
130	220,98	127	221,21	57,6	0,40	200,7	0,01	3,17	0,58	27,22	23,1	0,109
130	221,02	131	220,14	92,5	0,951	200,7	0,01	1,5	0,63	41,98	14,4	0,154
131	220,04	132	216,71	92,2	3,612	200,7	0,01	1,95	1,08	81,79	23,8	0,488
132	216,65	137	216,53	59,3	0,20	200,7	0,01	12,73	0,65	19,25	53,6	0,111
133	224,88	134	220,65	63	6,00	200,7	0,01	1,5	1,25	111,62	12	0,7
134	220,59	135	220,44	40,8	0,35	200,7	0,01	4,21	0,59	25,46	27,2	0,112
134	220,65	130	220,92	59,7	0,45	200,7	0,01	2,2	0,54	28,87	19	0,102
135	220,38	140	220,13	62,7	0,50	200,7	0,01	3,08	0,57	27,22	22,8	0,108
135	222	136	220,12	72,2	2,607	200,7	0,01	1,5	0,89	69,49	13	0,337
136	220,02	137	216,53	72,8	4,788	200,7	0,01	1,95	1,19	94,17	27,2	0,608



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
137	216,47	138	216,41	30,9	0,20	200,7	0,01	15,01	0,67	19,25	59,1	0,117
138	216,35	142	216,28	36,3	0,20	200,7	0,01	15,22	0,67	19,25	59,8	0,117
139	224	140	220,13	105,1	4,92	200,7	0,01	1,5	1	82,54	12,6	0,441
140	220,07	144	215,71	53,4	0,50	200,7	0,01	3,86	1,77	123,01	18,9	1,249
140	221,3	141	219	75	1,74	200,7	0,01	1,5	0,94	75,34	57,9	0,382
142	216,17	146	216,06	53,6	0,15	250,8	0,01	17,99	0,71	34,85	46,9	0,127
142	218,5	141	220,02	77	1,976	200,7	0,01	2,13	0,9	60,5	15,9	0,318
143	223,01	144	215,71	111,5	3,97	200,7	0,01	1,5	1,23	110,1	12	0,686
144	215,6	148	215,33	53,1	0,50	250,8	0,01	25,48	1,09	55,1	49,5	0,304
145	215,8	144	215,66	69,8	0,50	250,8	0,01	19,5	0,73	34,85	49	0,131
146	216	145	215,86	70,6	0,15	250,8	0,01	19,03	0,72	34,85	48,4	0,129
147	222,33	148	215,38	97,3	4,89	200,7	0,01	0,12	0,59	115,01	7,4	0,227
148	215,27	81	214,36	189,8	0,50	250,8	0,01	26,34	1,09	54,1	50,7	0,299
149	216,84	146	216,11	50,1	1,447	200,7	0,01	0,66	0,57	51,76	10,7	0,147
157	208,16	214	206,92	116,3	1,11	364,2	0,01	58,56	1,77	217,74	42	0,758
158	216,83	160	216,76	33,8	0,50	250,8	0,01	29,77	0,79	34,85	62,9	0,149
159	218,41	158	216,94	62,2	2,367	200,7	0,01	1,5	0,86	66,21	24,3	0,313
160	216,7	163	215,87	92	0,79	250,8	0,01	32,66	1,46	74,2	52,4	0,541
161	218,94	160	216,81	97,6	2,28	200,7	0,01	2,16	0,93	63,55	15,9	0,346
162	220,95	161	219	96,7	2,013	200,7	0,01	1,5	0,81	61,06	13,3	0,276
163	215,81	164	214,01	47,8	3,73	250,8	0,01	33,07	2,45	151,24	45,3	1,691
164	213,95	166	212,01	114,8	1,688	250,8	0,01	35,49	1,87	101,24	51	0,921
165	214,74	164	214,06	119,9	0,564	200,7	0,01	1,51	0,52	32,32	18,6	0,103
166	211,95	167	209,77	119	1,79	250,8	0,01	36,13	1,93	105,55	51	0,991

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
167	209,71	168	209,4	28,5	1,089	250,8	0,01	36,83	1,61	81,31	54,7	0,657
168	209,34	169	208,9	34,6	1,27	250,8	0,01	37,19	1,71	87,81	62,5	0,746
169	208,9	170	208,08	42,9	1,912	250,8	0,01	37,22	1,98	107,74	51,5	1,037
170	208,02	171	206,45	69,1	2,273	250,8	0,01	37,22	2,11	117,5	50,6	1,189
171	206,39	172	205,75	38,4	1,663	250,8	0,01	37,22	1,88	100,51	52,3	0,927
172	205,69	173	203,76	51,1	3,775	250,8	0,01	37,22	2,53	151,4	48,2	1,781
173	203,7	173A	201,6	48,4	4,337	250,8	0,01	37,22	2,67	162,28	47,5	1,985
174	201,32	175	201,2	63,2	0,2	298	0,01	37,22	0,85	55,23	55	0,166
175	201,14	176	200,99	71,9	0,2	298	0,01	37,22	0,85	55,23	55	0,166
176	200,93	333	200,78	74,2	0,2	298	0,01	37,22	0,85	55,23	55	0,166
333	200,72	178	200,34	46,7	0,817	298	0,01	37,22	1,44	111,61	44,9	0,519
178	200,28	179	200,22	33,1	0,15	298	0,01	37,22	0,85	55,23	54,9	0,166
179	200,16	180	198,43	49,2	3,53	298	0,01	37,22	2,43	231,2	38,5	1,641
180	198,37	181	197,38	46,6	2,124	298	0,01	37,22	2,03	179,97	40,4	1,107
181	197,32	182	197,14	51,4	0,35	298	0,01	37,22	1,05	73,1	50,2	0,263
182	197,08	183	196,97	53,7	0,18	298	0,01	37,22	0,85	55,23	55	0,166
183	196,91	184	195,24	62,6	2,672	298	0,01	37,22	2,21	201,86	39,5	1,326
184	195,18	185	195,02	83,4	0,15	298	0,01	37,22	0,85	55,23	55	0,166
185	194,96	186	193,97	79,8	1,28	298	0,01	37,22	1,67	137,1	42,8	0,72
186	193,91	187	193,07	54	1,555	298	0,01	37,22	1,82	154	41,7	0,866
187	193,01	MH-6	190,39	44,8	5,847	298	0,01	37,22	2,92	298,6	36,9	2,453
189	206,97	190	204,77	119,3	1,848	200,7	0,01	10,39	1,4	58,51	35,7	0,608
190	204,71	191	203,1	118,3	1,359	200,7	0,01	10,71	1,26	50,18	37,5	0,484
191	203,04	192	202,44	55,2	1,094	200,7	0,01	11,04	1,18	45,01	39	0,412

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
192	202,38	193	202,21	82,9	0,19	200,7	0,01	11,39	0,63	19,25	50,2	0,107
193	202,15	194	197,63	123,5	3,663	200,7	0,01	12,17	1,86	82,37	36,3	1,113
194	197,57	196	196,39	53,1	2,22	200,7	0,01	14,62	1,64	64,13	41,9	0,811
195	197,94	194	197,63	56,5	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	18,6	0,101
196	196,33	198	194,06	45,7	4,965	200,7	0,01	16,68	2,28	95,9	41,6	1,618
197	196,67	196	196,39	51,8	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	20,5	0,101
198	193,95	200	193,82	68	0,15	250,8	0,01	25,2	0,77	34,85	57	0,142
199	194,28	198	194,06	87,2	0,25	200,7	0,01	7,99	0,63	21,52	39,8	0,112
200	193,76	201	193,61	72,7	0,15	250,8	0,01	25,39	0,77	34,85	57,3	0,143
201	193,55	202	193,41	70	0,15	250,8	0,01	25,6	0,77	34,85	57,6	0,143
202	193,35	203	193,27	38,7	0,15	250,8	0,01	25,82	0,77	34,85	57,9	0,144
203	193,21	205	192,91	60,7	0,50	250,8	0,01	27,47	1,12	55,1	51,6	0,313
204	195,36	203	193,32	50,3	3,81	200,7	0,01	1,5	1,04	86,7	12,5	0,475
205	192,85	206	192,52	65,1	0,50	250,8	0,01	27,57	1,12	55,1	51,7	0,313
206	192,46	207	191,25	98	1,36	250,8	0,01	27,98	1,57	86,77	46,5	0,654
207	190,95	188	189,82	58,9	1,919	200,7	0,01	7,99	1,31	59,61	31,1	0,559
207	191,19	326	189,73	115,7	1,261	250,8	0,01	20,52	1,45	87,51	39,4	0,583
188	188,6	MH-7	188,44	16,3	0,979	298	0,01	45,31	1,62	122,18	48,8	0,649
209	210,09	87	209,08	65,3	1,548	200,7	0,01	1,5	0,74	53,54	13,7	0,225
209	208	210	207,34	74,7	0,877	200,7	0,01	4,68	0,85	40,31	25,7	0,24
210	207,24	211	206,09	71,9	1,604	200,7	0,01	4,84	1,06	54,51	24,5	0,39
211	206,03	212	205,67	119,1	0,30	200,7	0,01	4,99	0,59	23,57	30,3	0,106
212	205,61	213	205,42	65,2	0,303	200,7	0,01	5,15	0,6	23,69	30,7	0,109
213	205,36	216	204,12	103,4	1,194	200,7	0,01	5,25	0,98	47,04	26,3	0,321



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
214	206,86	215	205,26	80,5	1,981	364,2	0,01	58,62	2,22	296,79	39,4	1,237
215	205,2	216	203,96	80,2	1,552	364,2	0,01	58,62	2,03	262,63	40,4	1,02
216	203,9	217	202,28	74,7	2,163	364,2	0,01	63,92	2,34	310,09	40,9	1,375
217	202,55	218	201,54	61,7	1,638	200,7	0,01	19	1,58	55,08	49,7	0,71
217	202,22	224	200,44	106,9	1,663	364,2	0,01	45	1,93	271,87	35	0,963
218	201,44	219	201,03	62,1	0,655	200,7	0,01	19,04	1,13	34,84	55,8	0,339
219	200,97	220	200,59	42,8	0,886	200,7	0,01	15	1,18	40,51	47,1	0,395
219	200,97	227	198,93	94	2,175	200,7	0,01	4,37	1,15	63,47	28,2	0,473
220	200,53	221	200,45	41,2	0,20	200,7	0,01	13	0,65	19,25	54,2	0,112
220	200,6	229	198,89	63,2	2,705	200,7	0,01	2,37	1,04	70,78	16,3	0,426
221	200,39	222	199,36	56,9	1,804	200,7	0,01	11	1,41	57,81	36,9	0,611
221	200,4	231	196,82	119,5	2,993	200,7	0,01	2,86	1,13	74,45	17,7	0,501
222	199,3	223	197,19	91,2	2,32	200,7	0,01	9	1,45	65,55	32,4	0,683
222	199,46	234	196,81	95,9	2,764	200,7	0,01	2,74	1,09	71,55	17,5	0,463
223	197,13	199	194,34	41,9	6,66	200,7	0,01	9,18	2,12	111,06	29,8	1,571
224	200,38	225	193,25	107,7	5,46	364,2	0,01	45,16	3,16	542,65	44,8	2,843
225	193,19	255	193,03	78,6	0,15	364,2	0,01	69,06	0,99	94,29	58,3	0,208
226	193,49	225	193,36	61,7	0,15	250,8	0,01	23,75	0,76	34,85	55	0,14
227	198,93	228	193,78	93,9	5,477	200,7	0,01	4,91	1,65	100,72	22,1	1,022
228	193,67	226	193,55	62,5	0,15	250,8	0,01	23,71	0,76	34,85	54,9	0,14
229	198,68	230	197,27	63,8	2,217	200,7	0,01	2,8	1,02	64,08	18	0,393
230	197,21	231	195,92	49,1	2,623	200,7	0,01	3,11	1,11	69,7	18,7	0,471
231	195,86	232	194,06	50,3	3,584	200,7	0,01	14,16	1,93	81,48	39,4	1,168
232	193,95	228	193,73	108,7	0,15	250,8	0,01	18,27	0,71	34,85	47,3	0,128



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
233	195,55	232	194,06	84,8	1,762	200,7	0,01	1,5	0,77	57,12	13,5	0,249
234	196,07	231	195,92	57,8	0,25	200,7	0,01	7,29	0,61	21,52	37,9	0,108
235	194,45	232	194,06	78,3	0,50	200,7	0,01	2,01	0,54	30,43	17,9	0,107
236	196,4	234	196,13	79,6	0,35	200,7	0,01	3,5	0,56	25,46	24,7	0,103
238	194,9	235	194,51	71,2	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
255	192,97	256	192,82	78,2	0,15	364,2	0,01	69,18	0,99	94,29	58,4	0,208
256	192,76	257	192,52	119,9	0,15	364,2	0,01	69,45	0,99	94,29	58,5	0,208
257	192,46	258	191,01	116,1	1,46	364,2	0,01	69,76	1,97	235,37	45,3	0,922
258	190,95	259	188,52	119,2	2,04	364,2	0,01	69,96	2,35	301,13	43,1	1,364
259	188,46	260	186,77	107,4	1,575	364,2	0,01	70,19	2,15	264,65	44,3	1,113
260	186,71	261	184,91	118,2	1,523	364,2	0,01	70,4	2,12	260,18	44,6	1,085
261	184,85	262	183,19	116,9	1,414	364,2	0,01	70,48	2,07	250,68	44,9	1,024
262	183,13	263	182,07	115,8	0,922	364,2	0,01	70,52	1,77	202,43	47,2	0,728
263	182,01	264	181,21	98,8	0,805	364,2	0,01	70,58	1,68	189,22	48	0,654
264	181,15	265	180,8	93,1	0,381	364,2	0,01	70,62	1,28	130,21	53,1	0,358
265	180,74	266	180,07	117,3	0,572	364,2	0,01	70,64	1,48	159,46	50,1	0,497
266	180,01	267	179,76	55,4	0,442	364,2	0,01	70,74	1,35	140,22	52	0,404
267	179,7	268	179,46	121,5	0,15	364,2	0,01	70,87	0,99	94,29	59,2	0,209
268	179,4	269	179,18	106,7	0,15	364,2	0,01	71,03	0,99	94,29	59,3	0,21
269	179,12	270	178,82	57,6	0,72	364,2	0,01	71,14	1,44	152,9	50,9	0,466
270	178,76	271	176,86	32,1	2,94	364,2	0,01	71,16	3,46	513,07	39,5	3,177
271	176,8	272	172,95	38,6	0,15	364,2	0,01	73,07	4,2	666,74	38,5	4,842
272	172,89	272 A	172,81	39,9	0,15	364,2	0,01	73,07	1	94,29	60,1	0,211
273	172,62	273 A	172,55	33,4	0,15	364,2	0,01	73,07	1	94,29	59,9	0,211



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
274	172,35	282	172,24	56,3	3,05	364,2	0,01	76,09	1,01	94,29	61,9	0,214
275	174,19	274	172,57	16,2	6,33	200,7	0,01	3,02	1,76	136,1	16,5	1,31
276	177,54	275	174,25	32,9	1,42	200,7	0,01	3,02	1,76	136,1	16,5	1,31
277	178,43	276	177,6	39,8	1,55	200,7	0,01	3,02	1,02	62,38	18,8	0,391
278	178,88	277	178,49	44,2	0,874	200,7	0,01	1,52	0,61	40,24	14,6	0,145
279	179,46	278	178,94	44,3	1,18	200,7	0,01	1,5	0,68	46,76	14,1	0,182
280	179,35	277	178,49	29,2	2,943	200,7	0,01	1,5	0,93	73,84	12,9	0,37
281	180,49	280	179,41	90,4	1,187	200,7	0,01	1,5	0,68	46,89	14,1	0,183
282	172,18	283	171,99	95,2	0,76	364,2	0,01	76,09	1,01	94,29	61,9	0,214
283	171,93	284	171,86	35,9	3,17	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	63,7	0,217
284	171,8	285	171,65	71	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,4	0,217
285	171,59	286	171,47	64	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,3	0,217
286	171,41	287	170,02	67,5	2,06	364,2	0,01	80,77	2,46	302,59	46,4	1,459
287	169,96	288	169,78	89	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,4	0,217
288	169,72	289	169,64	38,2	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	63,8	0,217
289	169,58	289 A	169,09	26,4	1,874	364,2	0,01	80,77	2,38	288,62	46,9	1,354
289 A	169,03	290	168,95	35,9	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	63,7	0,217
290	168,89	291	168,75	72,4	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,4	0,217
291	168,69	292	168,58	53,9	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,1	0,217
292	168,52	293	165,03	69,9	5,002	364,2	0,01	80,77	3,38	471,53	42,8	2,938
293	164,97	294	164,85	57,3	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,2	0,217
294	164,79	295	164,67	62,4	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,3	0,217
295	164,61	296	164,5	53,9	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,1	0,217
296	164,44	297	164,25	96	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,4	0,217



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
297	164,19	298	163,07	100,1	1,119	364,2	0,01	80,77	1,97	223,05	49,6	0,898
298	163,01	299	162,83	90	0,20	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,4	0,217
301	159,05	302	158,97	42,7	0,20	364,2	0,01	80,77	0,78	94,29	100	0,217
302	158,91	MH-10	157,65	632,1	0,2	364,2	0,01	80,77	0,78	94,29	100	0,217
303	177,22	283	172,15	111,8	2,46	200,7	0,01	4,68	1,52	91,67	21,9	0,864
304	177,51	303	177,28	22,9	1,011	200,7	0,01	4,68	0,89	43,26	25,3	0,268
305	177,97	304	177,57	41,2	1,30	200,7	0,01	4,64	0,88	42,24	25,3	0,257
306	178,22	305	178,03	64,8	0,34	200,7	0,01	4,6	0,58	23,57	29	0,103
307	178,97	306	178,28	57,4	0,90	200,7	0,01	3,04	0,84	47,03	20	0,252
308	179,15	307	179,03	31,5	0,40	200,7	0,01	3,02	0,57	27,22	22,6	0,107
309	179,41	308	179,21	35,6	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
310	178,65	306	178,28	67,3	0,55	200,7	0,01	1,52	0,52	31,92	15,4	0,102
311	180,3	308	179,21	68,4	1,587	200,7	0,01	1,5	0,75	54,21	13,7	0,23
311	180,3	310	178,75	77,3	2,001	200,7	0,01	1,5	0,81	60,88	13,4	0,275
312	180,91	311	180,36	65,2	0,843	200,7	0,01	3	0,74	39,52	20,6	0,191
312	180,48	313	179,55	82,7	1,15	200,7	0,01	1,73	0,69	45,71	15,2	0,188
313	179,49	314	178,93	45,7	1,213	200,7	0,01	1,89	0,73	47,41	15,7	0,207
314	178,87	271	177,03	40,9	2,17	200,7	0,01	1,91	1,16	91,38	14	0,574
315	180,65	312	180,54	37,1	0,25	200,7	0,01	4,56	0,58	23,57	28,9	0,102
316	178,47	350	178,39	39,4	0,15	250,8	0,01	21,77	0,74	34,85	52,2	0,136
316	181,5	315	180,72	67,1	1,163	200,7	0,01	4,5	0,93	46,4	24,4	0,294
317	178,74	316	178,53	107	0,15	250,8	0,01	26,25	0,77	34,85	58,5	0,144
318	182,62	317	178,85	54,7	1,78	200,7	0,01	0,02	0,32	112,89	14	0,1
319	180,83	317	178,8	74,3	1,58	250,8	0,01	26,19	2,04	128,61	41,3	1,186



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
320	183,19	319	180,94	32,7	0,94	200,7	0,01	0,02	0,32	113	6	0,1
321	184,34	319	180,89	119,7	1,25	250,8	0,01	25,99	2,08	132,37	40,9	1,237
322	185,65	321	184,4	117,2	1,067	250,8	0,01	25,8	1,45	80,5	45,3	0,562
323	185,95	322	185,71	116,9	0,23	250,8	0,01	25,55	0,77	34,85	57,5	0,143
324	186,07	323	186,01	30	0,15	250,8	0,01	25,33	0,77	34,85	57	0,143
325	186,31	324	186,13	92,2	0,15	250,8	0,01	25,27	0,77	34,85	57,1	0,143
326	189,67	325	186,37	98,9	3,335	250,8	0,01	20,66	2,05	142,31	35,9	1,256
327	186,63	325	186,42	70,4	0,30	200,7	0,01	4,56	0,58	23,57	28,9	0,102
328	187,05	327	186,69	65,9	0,55	200,7	0,01	1,5	0,52	31,92	15,3	0,101
329	188,14	327	186,69	52,9	2,74	200,7	0,01	3,06	1,12	71,24	18,5	0,483
330	188,57	329	188,2	47	0,792	200,7	0,01	1,52	0,59	38,29	14,8	0,135
331	188,92	329	188,2	56,3	1,274	200,7	0,01	1,52	0,7	48,57	14	0,194
332	190,5	331	188,98	97,4	1,567	200,7	0,01	1,5	0,74	53,88	13,7	0,227
334	188,07	335	187,93	67,8	0,20	298	0,01	45,31	0,88	55,23	62,1	0,176
335	187,87	335 A	187,55	44,4	0,718	298	0,01	45,31	1,45	104,65	50,6	0,506
336	186,07	337	183,93	24,8	8,627	298	0,01	45,31	3,54	362,7	39,6	3,622
337	183,87	338	183,84	14	0,20	298	0,01	45,31	0,88	55,23	60,5	0,176
338	183,78	339	183,74	24,5	0,20	298	0,01	45,31	0,88	55,23	61,3	0,176
339	183,68	339 A	183,63	20,7	0,20	298	0,01	45,31	0,88	55,23	61,1	0,176
340	183,45	341	183,22	40,3	0,561	298	0,01	45,31	1,32	92,49	52,3	0,414
341	183,16	342	182,98	93,1	0,15	298	0,01	45,31	0,88	55,23	62,1	0,176
342	182,92	343	182,85	33,7	0,15	298	0,01	45,31	0,88	55,23	61,6	0,176
343	182,79	344	182,65	69,8	0,15	298	0,01	45,31	0,88	55,23	62,1	0,176
344	182,59	345	182,53	31,5	0,15	298	0,01	45,31	0,88	55,23	61,6	0,176

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
345	182,47	346	181,05	61,9	2,46	298	0,01	45,31	2,2	186,61	44,4	1,274
346	180,99	347	180,93	30,3	0,15	298	0,01	45,31	0,88	55,23	61,5	0,176
347	180,87	348	180,74	65,6	0,15	298	0,01	45,31	0,88	55,23	62,1	0,176
348	180,68	349	179,25	101,2	1,45	298	0,01	45,31	1,85	146,74	46,7	0,869
349	179,19	354	177,51	40	4,04	298	0,01	45,31	2,75	253,56	42	2,066
350	178,33	351	178,15	90,5	1,20	250,8	0,01	21,79	0,74	34,85	52,3	0,136
351	178,09	352	177,92	83,2	0,39	250,8	0,01	21,81	0,74	34,85	52,3	0,136
352	177,86	353	177,68	89,8	0,99	250,8	0,01	21,87	0,75	34,85	52,4	0,136
353	177,62	354	177,55	35,1	3,07	250,8	0,01	21,95	0,75	34,85	52,5	0,136
354	177,38	355	177,33	22,6	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	56,8	0,206
355	177,27	356	177,16	58	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	57,4	0,206
356	177,1	357	176,99	52	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	57,4	0,206
357	176,93	358	176,7	33,2	1,10	364,2	0,01	67,27	1,58	176,46	47,6	0,574
358	176,64	359	176,21	40	1,083	364,2	0,01	67,27	1,85	219,47	45,2	0,813
359	176,15	360	174,51	61,4	2,664	364,2	0,01	67,27	2,56	344,1	41,1	1,656
360	174,45	361	174,37	41,7	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	57,3	0,206
361	174,31	362	174,26	22,4	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	56,8	0,206
362	174,2	363	174,15	25,1	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	56,9	0,206
363	174,09	364	174,06	18,6	0,15	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	56,6	0,206
364	174	365	173,79	34,2	0,77	364,2	0,01	67,27	1,5	165,11	48,4	0,516
365	173,73	366	172,18	44,5	3,48	364,2	0,01	67,27	2,82	393,29	40,1	2,043
366	172,12	367	171,82	20,9	1,438	364,2	0,01	67,27	2,05	252,85	43,9	1,018
367	171,76	368	171,52	57,1	0,60	364,2	0,01	67,27	1,32	137,88	50,8	0,385
368	171,46	369	171,05	25,2	1,79	364,2	0,01	67,27	2,14	267,1	43,3	1,11

Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
369	170,99	370	170,85	30	0,60	364,2	0,01	67,27	1,36	143,46	50,2	0,411
370	170,79	371	169,66	23,4	3,97	364,2	0,01	67,27	3,17	463,2	39	2,642
371	169,6	372	169,31	32,4	0,70	364,2	0,01	67,27	1,72	198,5	46,2	0,693
372	169,25	373	169,17	16,3	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
373	169,11	374	168,98	26,2	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
374	168,92	375	168,79	26,3	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
375	168,73	376	168,6	26,5	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
376	168,54	377	168,26	54,9	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
377	168,2	378	168,06	29	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
378	168	379	167,85	29	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
379	167,79	380	167,54	49,8	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
380	167,48	381	167,37	54,9	0,60	364,2	0,01	67,27	0,98	94,29	57,4	0,206
381	167,31	382	166,52	79,6	0,72	364,2	0,01	67,27	1,8	210,58	45,6	0,761
382	166,46	383	166,12	67,8	0,50	364,2	0,01	67,27	1,39	149,09	49,7	0,438
383	166,06	384	161,82	57,1	1,75	364,2	0,01	67,27	3,69	574,11	76,2	3,699
384	161,76	384 A	157,65	41,2	2,28	364,2	0,01	67,27	0,65	666,74	100	4,67
385	164	386	163,3	112,6	0,421	447,2	0,01	148,04	1,84	287,15	55,7	0,701
386	163,24	387	162,57	114,9	0,588	447,2	0,01	148,04	1,81	279,53	56,1	0,671
387	162,51	388	161,93	115,5	0,50	447,2	0,01	148,04	1,7	257,75	57,4	0,588
388	161,87	389	161,32	110,1	0,50	447,2	0,01	148,04	1,7	257,75	57,4	0,588
389	161,26	390	160,67	117,8	0,50	447,2	0,01	148,04	1,7	257,75	57,4	0,588
390	160,61	391	160,21	107,2	0,369	447,2	0,01	148,04	1,51	221,5	60,1	0,457
391	160,15	392	155,56	120	3,825	447,2	0,01	148,04	3,58	712,89	45,7	2,995
392	155,5	393	152,16	118,4	2,821	447,2	0,01	148,04	3,21	612,29	47	2,356



Pozo Inicial	Elevación de Fondo Pozo Inicial (m)	Pozo Final	Elevación de Fondo Pozo Final (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Diámetro (mm)	n de Manning	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Capacidad a Tubo Lleno (L/s)	y/D (%)	Fuerza Tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
393	152,1	0-1	152,01	46,1	0,15	447,2	0,01	148,04	1,18	163,02	66,7	0,269
173A	201,49	174	201,38	55	0,2	298	0,01	37,22	0,85	55,23	55	0,166
MH-6	190,33	188	188,66	16,7	10	298	0,01	37,22	3,53	390,51	35,4	3,728
MH-7	188,38	334	188,13	50,2	0,5	298	0,01	45,31	1,26	87,32	53,2	0,377
335 A	187,49	336	186,13	46,1	2,95	298	0,01	45,31	2,42	212,11	43,3	1,558
339 A	183,57	340	183,51	32,7	0,20	298	0,01	45,31	0,88	55,23	61,6	0,176
299	162,77	300	162,64	64,5	0,2	364,2	0,01	80,77	1,02	94,29	64,3	0,217
300	162,58	301	159,11	66,4	5,212	364,2	0,01	80,77	3,43	481,34	78,8	3,037
272 A	172,75	273	172,68	33,6	0,15	364,2	0,01	73,07	1	94,29	59,9	0,211
273 A	172,49	274	172,41	41,2	0,15	364,2	0,01	73,07	1	94,29	60,1	0,211

## **18.2. Anexo 2. Memoria de cálculo Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.3. Anexo 3. Presupuesto preliminar de obras**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.4. Anexo 4. Formulario D1 SETENA y estudios técnicos**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.5. Anexo 5. Documentación de los servicios públicos**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.6. Anexo 6. Láminas del prediseño**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.7. Anexo 7. Términos de Referencia**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.8. Anexo 8. Cronograma preliminar**

Este anexo se encuentra de manera digital.

## **18.9. Anexo 9. Montos unitarios del presupuesto preliminar de la PTAR**

En este anexo se presenta el costo unitario utilizado en el prediseño de la PTAR de los rubros más importantes y significativos. Se puede observar también la referencia de 4 tipos de proyectos de donde se extrajo el valor para el precio unitario de la PTAR. Dichos montos unitarios salen a raíz de la experiencia del profesional presupuestista a través de los años y también por consulta a inventarios existentes en la WEB de ferreterías.

Tabla resumen con referencia de costos unitarios para diferentes tipos de proyectos. Fuente Ing. Allan Muñoz. Abril-Mayo 2022.

Actividad	Unidad	PTAR	Proyectos de Referencia P.U. (\$)			
		P.U. (\$)	Infraestructura	PTAR	Edificio Comercial	Edificio Comercial
Excavación y movimientos de tierra	m³	\$ 12,30	\$ 16,00	\$ 11,20	\$ 12,00	\$ 14,00
Sustitución de suelos	m³	\$ 36,30	\$ 28,00	\$ 33,00	\$ 34,00	\$ 34,70
Losa de fundación	m²	\$ 450,00	\$ -	\$ 425,00	\$ 380,00	\$ 460,00
Muros de concreto	m²	\$ 980,00	\$ -	\$ 1 050,00	\$ 1 000,00	\$ 945,00
Obras complementarias (cajas de concreto, est. Metálicas livianas, pedestales, etc.)	m²	\$ 75,00	\$ 82,00	\$ 66,00	\$ 35,00	\$ 35,00
Losa de techo	m²	\$ 170,00	\$ -	\$ 172,00	\$ 165,00	\$ 168,00
Columnas de concreto	m³	\$ 880,00	\$ -	\$ 872,00	\$ 800,00	\$ 810,00
Vigas de concreto	m³	\$ 1 050,00	\$ -	\$ 1 035,00	\$ 1 100,00	\$ 1 125,00
Entrepiso	m²	\$ 190,00	\$ -	\$ 173,00	\$ 145,00	\$ 145,00
Alero (Cubiertas con Láminas policarbonato)	m²	\$ 43,30	\$ -	\$ 41,54	\$ 38,00	\$ 44,00
Preparación del terreno (limpieza)	m²	\$ 0,80	\$ 0,60	\$ 0,75	\$ 1,05	\$ 0,90
Caseta de guarda	m²	\$ 700,00	\$ 625,00	\$ 680,00	\$ 550,00	\$ 550,00
Casetas de equipos	m²	\$ 580,00	\$ 475,00	\$ 500,00	\$ 450,00	\$ 450,00
Caseta operación	m²	\$ 580,00	\$ 475,00	\$ 500,00	\$ 450,00	\$ 450,00
Sistema de Iluminación Iluminación	glob	\$ 44 000,00	\$ -	\$ 35 000,00	\$ 35 000,00	\$ 60 000,00
Sistema de Seguridad perimetral CCTV	glob	\$ 64 000,00	\$ -	\$ -	\$ 75 000,00	\$ 105 000,00
Aceras	m²	\$ 48,00	\$ 42,00	\$ 48,00	\$ 39,00	\$ 41,00
Calles de acceso y parqueo	m²	\$ 251,00	\$ 250,00	\$ -	\$ -	\$ -
Malla perimetral (Con seguridad púas)	m	\$ 75,00	\$ 70,00	\$ 77,00	\$ 70,00	\$ 70,00
Plantas generadoras c/transferencia autom. (300kw)	un	\$ 78 500,00	\$ 42 000,00	\$ 70 000,00	\$ 90 000,00	\$ 88 000,00
Transformador principal 300kva	un	\$ 26 363,64	\$ 25 000,00	\$ 30 000,00	\$ 35 000,00	\$ 35 000,00
Trafo seco 30kva	un	\$ 8 378,79	\$ 9 000,00	\$ 10 000,00	\$ 8 500,00	\$ 8 000,00

**Otras referencias aportadas por Hidrogeotecnia:**

TSS Internacional S.A. de C.V. referencia TSS-080-2021  
 Potencia fluida y mecanica referencia 040422-6397  
 Zebol referencia 65063

\$ 257 125,00
\$ 36 725,00
\$ 80 247,74

Figura 43. Precios unitarios de algunos de los rubros del presupuesto preliminar de la PTAR.

Financiado por



Co-implementado por



Co-ejecutado por



En alianza con



En colaboración con



**CReW+**

