

**FORMULACIÓN DE PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE TENA.**

SANDRA CATALINA HIGUERA MOZOMBITE COD. 064102043

INGRID JOHANNA PUENTES DIAZ COD. 064111011

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR: JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO
Ingeniero Civil Magister en Recursos Hidráulicos

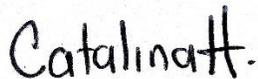
**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, 2017**

Declaratoria de originalidad:

“El presente trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de trabajo de grado es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”.

Sandra Catalina Higuera Mozombite

Ingrid Johanna Puentes Díaz



CatalinaH.



CC: 1.015.435.012
COD. 064102043

CC. 1.022.386.263
COD. 064111011

Contenido

INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN PRELIMINAR.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1. AGUAS RESIDUALES	16
4.1.1. Aguas Residuales Domésticas (ARD)	16
4.1.2. Aguas Residuales Industriales.	17
4.2. PROYECCIONES POBLACIONALES.....	18
4.3.1. Caudal Medio Diario De Aguas Residuales.....	21
4.3.2. Caudal Máximo Horario de Aguas Residuales	21
4.3.3. Factor de Mayoración	22
4.3.4. Infiltración (Q _{inf}).	23
4.3.5. Conexiones Erradas (Q _{ce})	23
4.3.6. Caudal de Diseño	23
4.4. PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	24
4.5. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	26
4.5.1. Tratamiento preliminar.....	26
4.5.2. Tratamiento primario.	26
4.5.3. Tratamiento Secundario.	26
4.5.4. Tratamiento Terciario.	26
• Filtro Percolador.....	27
Tratamiento y evacuación de lodos.	28

4.7. ALCANTARILLADO SANITARIO.....	29
4.7.1. Redes de Alcantarillado.....	30
4.7.1.1. Descripción general de los tipos de redes de alcantarillado	30
4.7.1.2. Caracterización general de las redes de alcantarillado	30
4.8. RELACIÓN BENEFICIO – COSTO	37
5. MARCO GEOGRÁFICO.....	38
5.1. DESCRIPTORES FÍSICOS MUNICIPALES Y URBANOS.....	38
5.1.1. Localización.....	38
5.1.2. Extensión Territorial.....	38
5.2. GEOMORFOLOGÍA.....	41
5.3. USOS DEL SUELO	42
5.4. TOPOGRAFÍA	43
5.5. HIDROLOGÍA	43
5.6. CLIMA.....	44
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	45
6.1. PRIMERA FASE	45
6.1.1. Recolección de información.....	45
6.1.2. Dimensionamiento de la PTAR.....	45
6.1.3. Levantamiento topográfico	45
6.2. SEGUNDA FASE.....	46
6.2.1. Toma de muestras.....	46
6.2.2. Proyección de población.....	47
6.2.3. Sistema de tratamiento.....	47
6.2.4. Comparación con la normatividad	47
6.3. TERCERA FASE	48
6.3.1. Parámetros de mejora	48

6.3.2.	Estudio beneficio-costo	48
7.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	49
7.1.	PRIMERA FASE	49
7.1.1.	Dimensionamiento de la PTAR	49
7.1.2.	Descripción de la PTAR.....	55
7.1.3.	Planos	56
7.1.4.	Levantamiento topográfico	60
7.1.5.	Análisis hidráulico de tuberías	61
7.1.6.	Verificación de las tuberías de la conexión del alcantarillado	67
7.1.7.	Estudio de Proyecciones Poblacionales	68
7.2.	SEGUNDA FASE.....	78
7.2.1.	Caracterización de las aguas	78
7.2.1.1.	Impactos Ambientales, Sociales y Económicos.	78
7.2.1.2.	Resultados y análisis de caracterización de aguas.....	79
7.2.1.3.	Gráficas Parámetros Físicos.....	81
7.2.1.4.	Análisis Laboratorio	84
7.2.1.5.	Gráficas Laboratorios. Parámetros Químicos	86
7.2.2.	Balance de Cargas	89
7.2.3.	Comparación con la norma.....	90
7.3.	TERCERA FASE	93
	Planteamiento y Selección de Parámetros de Optimización.....	93
7.3.2.	Análisis Costo – Beneficio	104
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Contribución industrial.....	17
Tabla 2. Consumo mínimo en comercios.....	18
Tabla 3. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población.....	19
Tabla 4. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales.....	23
Tabla 5. Características Análisis de Laboratorio.....	25
Tabla 6. Diagrama Filtro Percolador Típico, (Ramalho, 1996).....	27
Tabla 7. Lecho de Secado, Manual técnico de difusión. Sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues, Perú, 2008	28
Tabla 8. Fuente de sólidos y de lodos en el tratamiento de aguas residuales	29
Tabla 9. Tipos de redes de alcantarillado	30
<i>Tabla 910. Descripción Parámetros del Análisis Hidráulico.....</i>	<i>31</i>
Tabla 11. Coordenadas Municipio Tena	38
Tabla 12. Extensión Territorial Municipio Tena.....	38
Tabla 13. Mapa Provincia Tequendama. Gobernación de Cundinamarca 2012....	39
Tabla 14. Mapa División Territorial Municipio de Tena. EOT Tena, 2009.....	40
Tabla 15. Localización general municipio de Tena. Informe Final Tena, versión 2. CAR – Latin Consults.....	41
Tabla 16. Clasificación Geomorfológica.....	42
Tabla 17. Pisos Térmicos Municipio Tena	44
Tabla 18. Características del Muestreo	46
Tabla 19. Dimensionamiento PTAR Tena.....	49
Tabla 20. Diagrama de Procesos. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales,	

Municipio de Tena, Autores del proyecto, 2017.....	54
Tabla 21. Trampa de grasas	55
Tabla 22. Filtro percolador	56
Tabla 23. Lechos de secado.....	56
Tabla 24. Plano 1. Conexión PTAR al Alcantarillado.....	57
Tabla 25. Plano 2. Planta de la PTAR	58
Tabla 26. Plano 3. Perfil de la PTAR	59
Tabla 27. Levantamiento Topográfico.....	60
Tabla 28. Tramos Interconexión Alcantarillado a la PTAR.....	61
Tabla 29. Plano Perfil Interconexión Alcantarillado-PTAR	62
Tabla 30. Caudal de diseño	63
Tabla 31. Características Geométricas.....	63
Tabla 32. Características Hidráulicas – Relaciones Hidráulicas	64
Tabla 33. Características Hidráulicas	64
Tabla 34. Características Hidráulicas - Relación de pérdidas.....	65
Tabla 35. Características Hidráulicas	65
Tabla 36. Perfil Tramo 1	66
Tabla 37. Perfil Tramo 2	66
Tabla 38. Diámetros de las tuberías	67
Tabla 39. Velocidades de las tuberías	68
Tabla 40. Censo Poblacional Municipio Tena	69
Tabla 41. Análisis Poblacional. Crecimiento: Aritmético, Geométrico y Exponencial	72
Tabla 42. Determinación nivel de complejidad	72
Tabla 43. Población de diseño.....	73

Tabla 44. Dotación neta máxima	73
Tabla 45. Consumo Neto	73
Tabla 46. Coeficiente de retorno de ARD	74
<i>Tabla 47. Resultado Datos “In Situ” – Entrada</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 48. Resultados Datos “In Situ” – Salida</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 49. Resultados laboratorio de la segunda visita (29 de septiembre de 2016)</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 50. Resultado laboratorio tercera visita (05 de diciembre de 2016)</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 51. Consolidado visitas</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 52. Datos “In Situ” quebrada Los Micos</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 53. Resultados Parámetros Químicos Quebrada Los Micos.....</i>	<i>89</i>
Tabla 54. Balance de Cargas. Autores del proyecto, 2017	90
Tabla 55. Comparativo Resultados con la Norma.....	91
Tabla 56. Diseño trampa de grasas	94
Tabla 57. Diseño Sedimentador Primario	96
Tabla 58. Diseño Filtros Percoladores	97
Tabla 59. Diseño sedimentador Alta Tasa	100
Tabla 60. Diseño Lechos de Secado	102
Tabla 61. Costos Optimización de la PTAR.....	104
Tabla 62. Costo tasa Retributiva.....	105
Tabla 63. Valores Permisibles Anuales	105
Tabla 64. Proyección Costo Tasa Retributiva	106

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
<i>Gráfica 1. Tiempo vs pH</i>	81
<i>Gráfica 2. Tiempo vs Temperatura</i>	82
<i>Gráfica 3. Tiempo vs Solidos Sedimentables</i>	83
<i>Gráfica 4. Tiempo vs Oxígeno Disuelto</i>	84
<i>Gráfica 5. Tiempo vs DQO</i>	86
<i>Gráfica 6. Tiempo vs DBO₅</i>	87
<i>Gráfica 7. Tiempo vs Solidos Suspendidos Totales</i> Fuente: Autores del proyecto, 2017	87
<i>Gráfica 8. Tiempo vs Aceites y Grasas</i>	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Toma de muestras in situ.....	79
Figura 2. Matriz de identificación de aspectos ambientales significativos.....	108

INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son de gran importancia para disminuir el impacto de las aguas residuales contaminadas vertidas a fuentes de agua naturales, por tal razón gran parte de los municipios del país deberían contar con una, teniendo en cuenta las normas técnicas establecidas en el RAS 2000, que aplican para Colombia. Actualmente, se consideran que las poblaciones pequeñas del país en comparación con los grandes centros urbanos presentan deficiencias en cuanto al tratamiento de aguas residuales, encontrándose carencias en cuanto a saneamiento y depuración y así dar cumplimiento a la actual norma de vertimientos (Resolución 631 de 2015).

El consumo de agua cada vez requiere más demanda, así mismo la contaminación de esta aumenta ya sea tanto por su uso doméstico o industrial, esto se convierte en una responsabilidad de regresar en condiciones aceptables el agua que consumimos para que continúe su ciclo hidrológico y transcurso natural, favoreciendo así a la población actual y futuras generaciones, así mismo como a las especies y recursos naturales.

El proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipio de la Gran Vía – Tena”, se planteó con el objetivo de disminuir los contaminantes de las aguas que son vertidas a la Quebrada Los Micos, mediante tratamientos químicos, físicos y biológicos; De manera que permita beneficios ambientales y sociales al municipio. Sin embargo, posterior al diseño y construcción de la planta no se ha realizado una adecuada operatividad de la misma. Por tal motivo, en el siguiente proyecto se plantean parámetros de optimización para lograr el funcionamiento de la planta de tratamiento obteniendo al máximo su capacidad instalada y adecuada operatividad del sistema.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

“El municipio de Tena ubicado en el departamento de Cundinamarca siendo principal fuente de reserva hídrica en la región del Tequendama y Cundinamarca (Esquema De Ordenamiento Territorial Tena, 2000). Conforme con la necesidad de reducir la contaminación hídrica en la Quebrada de los Micos se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) hace aproximadamente 20 años, cuyo objetivo es minimizar los impactos ambientales sobre el recurso hídrico del municipio, generado por los vertimientos; Sin embargo esta planta no recibía agua ya que no estaba conectada con el emisario final y se encontraba en abandono, hasta hace 2 años (2016) que por medio de una consultoría se dio aval para la interconexión de las tuberías al alcantarillado. Razón por la cual en todo este tiempo de abandono de la planta las aguas que se vertían a la quebrada Los Micos llegaban sin ningún tratamiento, lo que causa posibles problemas de tipo ambiental, social y económico.

“Los objetivos de sistemas pequeños de manejo de aguas residuales son proteger la salud pública y proteger de la degradación o de la contaminación al ambiente receptor” (Crites & Tchobanoglous, 2000) Teniendo en cuenta estos criterios en este trabajo, se desea realizar una evaluación de las características de la PTAR para identificar los parámetros en los cuales se incumple la norma de vertimientos para así proponer y diseñar alternativas que den solución a la problemática.

Considerando que un sistema de alcantarillado es una técnica constituida por una red de tuberías, canales e instalaciones complementarias que permiten un desarrollo normal de la corriente de aguas recogidas, mantenimiento y reparación del mismo, que se basa en la evacuación de las aguas residuales y las pluviales, que escurren, evitando la acumulación y estancamiento de las aguas (Cabrera, 2011). La interconexión del alcantarillado con la planta mejora la conducción de aguas residuales para realizar el vertido a cuerpos de agua superficial, en este caso la quebrada Los Micos, de manera que no generen afectaciones a los habitantes de poblaciones.

Se considera uno de los principales problemas la falta de registros de tomas de muestras de la calidad del afluente y efluente de la planta para poder determinar la eficiencia del tratamiento. (Diseño de detalle para la construcción de obras de saneamiento en la cuenca del Río Bogotá, Paquete 2, 2011).

Por otro lado, en una de las fases del proyecto se pretende identificar y valorar los costos y beneficios económicos, teniendo en cuenta el valor de la tasa retributiva de los valores permisibles anuales por vertimientos, para finalmente comparar el valor del tiempo de retorno del proyecto en cuanto a los parámetros de mejora establecidos.

De este modo la pregunta de investigación es ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para el buen funcionamiento de la PTAR en el municipio de Tena, que logre generar un impacto positivo en la quebrada Los Micos y que cumpla con la normatividad vigente?

2. JUSTIFICACIÓN PRELIMINAR

El agua es un recurso natural indispensable para la supervivencia de todos los seres vivos. Se dice que el agua se contamina cuando en ella se introducen materiales que alteran su composición, lo cual hace que esta no reúna las condiciones necesarias para cumplir su objetivo en estado natural. Los ríos y mares tienen la facilidad de autodepurarse de una manera rápida. Este hecho se logra por la acción de microorganismo y otros fenómenos que generalmente ocurren dentro de un cuerpo de agua (hidrólisis, fotólisis, evaporación). (Povety, 2015).

La construcción de una PTAR tiene un impacto positivo en los habitantes de la región, mejorando la salud y su calidad de vida. Evitando malos olores, fortaleciendo el turismo e incrementado sus recursos económicos. Así como la producción agrícola y el desarrollo agroindustrial que son algunas de las principales fuentes económicas del municipio.

Es importante el manejo de aguas residuales en cualquier zona para mejorar sus recursos, ayudar a prevenir la contaminación ambiental desde un punto de vista que sea favorable para los habitantes, su estilo de vida, la flora y fauna de la región.

Los costos de una planta de tratamiento de aguas residuales generalmente representan un significativo esfuerzo económico para los municipios, pero es deber de estos realizar el adecuado tratamiento de las aguas residuales, de manera que se preserve la calidad de los recursos hídricos superficiales y se dé cumplimiento a las normas en materia de vertido de aguas residuales, las cuales son planteadas para la preservación de los recursos naturales.

“Considerando el municipio de Tena una de las más grandes reservas hídricas de la región del Tequendama y Cundinamarca”. (Esquema De Ordenamiento Territorial Tena, 2000). Es necesario proponer parámetros de optimización en la planta de tratamiento para que se reduzcan los impactos ambientales hídricos, específicamente en la Quebrada de los Micos siendo esta donde llegan los vertimientos

Así mismo los habitantes de Tena se benefician del manejo adecuado de las aguas ya que el funcionamiento de la planta mejora la calidad del agua generada por la producción agrícola, principal fuente económica del municipio y respecto a la calidad de vida de los habitantes es un factor de gran importancia para tener en cuenta en la evaluación, dado que el municipio es pequeño y cuenta con poca o nula actividad industrial, el principal aporte de carga contaminante del recurso hídrico, está constituido por los vertimientos de aguas residuales domésticas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Formular parámetros de optimización para la planta de tratamiento del municipio de Tena con el fin de mejorar la calidad de los vertimientos en la quebrada de Los Micos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar planos de perfil y planta del estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Verificar los diseños de tubería en la conexión del alcantarillado con la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tena.
- Evaluar los parámetros físicos y químicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tena.
- Determinar el beneficio-costos de la planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a los parámetros de optimización.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. AGUAS RESIDUALES

Son aguas contaminadas combinadas con sólidos disueltos y en suspensión, al ser usada por la población o industria, pueden ser de origen doméstico, comercial, industrial e institucional. (RAS, 2000)

4.1.1. Aguas Residuales Domésticas (ARD)

Son aquellas aguas que provienen de los hogares o viviendas y de áreas comerciales transportadas del alcantarillado a una planta de tratamiento municipal. Donde se realizan actividades industriales, comerciales o de servicio correspondiente a: Descarga de los retretes y servicios sanitarios; Descarga de los sistemas de aseo personal, cocinas, pocetas de lavado, lavado de paredes y piso y lavado de ropa. (Resolución 631, 2015)

Para determinar el caudal de aguas residuales domesticas se debe tener en cuenta la demanda de agua potable del municipio y el coeficiente de retorno mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Caudal de aguas residuales domésticas – Demanda neta

$$Q_D = C_R * D_{Neta} * A$$

Fuente. RAS. 2000

Donde,

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

D_{Neta} = Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s*Ha).

A = Área tributaria de drenaje (ha).

En caso de que no exista información de la demanda de agua potable, se tiene en cuenta la proyección de los suscriptores del servicio en el área objeto del proyecto del sistema de alcantarillado, para determinar el caudal de diseño bajo la siguiente ecuación.

Ecuación 2. Caudal de aguas residuales domésticas – suscriptores del servicio

$$Q_D = (C_R * P_s * D_{Neta}) / 30$$

Fuente. RAS. 2000

Donde,

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (m3/día).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

P_s = Número de suscriptores proyectados al período de diseño (suscriptores).

D_{Neta} = Demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor ($m^3/suscriptor/mes$).

Finalmente si no se cuenta con las proyecciones de demanda de agua o proyecciones de suscriptores, el cálculo de caudal de diseño de aguas residuales domésticas se hace utilizando la proyección de población del lugar de estudio, con la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Caudal aguas residuales domesticas – Proyecciones poblacionales

$$Q_D = (C_R * P * D_{Neta}) / 86400$$

Fuente. RAS. 2000

Donde,

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).

D_{Neta} = Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab/día).

4.1.2. Aguas Residuales Industriales.

Son aquellas aguas residuales que proceden de cualquier actividad industrial, en donde la transformación de la materia prima, producción se emplee agua para sus procesos, esas también pueden ser líquidos residuales, aguas de procesos o de drenaje. (Romero Rojas, 2000)

Para los lugares donde las actividades económicas son netamente industriales, es necesario elaborar análisis específicos de aportes industriales de aguas residuales; sin embargo para zonas donde la industria es pequeña se pueden asumir los valores de la siguiente tabla, teniendo en cuenta el nivel de complejidad.

Tabla 1. Contribución industrial

Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial (L/s-ha ind)
Bajo	0.4
Medio	0.6
Medio alto	0.8
Alto	1.0 – 1.5

Fuente. RAS. 2000

4.1.3. Aguas Residuales Comerciales.

Desechos líquidos provenientes de la actividad comercial en las zonas urbanas de municipios y localidades. (RAS, 2000)

En zonas netamente comerciales es necesario realizar un estudio detallado de los consumos actuales de los suscriptores comerciales, sin embargo en caso de que el alcantarillado no cuente con esa información se puede estimar las siguientes contribuciones comerciales.

Tabla 2. Consumo mínimo en comercios

Tipo de instalación	Carga
Oficinas	20 L/m ² /día
Locales comerciales	6L/m ² /día
Mercados	100 L/local/día
Lavanderías de autoservicio	40 L/kilo ropa
Clubes deportivos	150 L/asistente/día
Cines y teatros	6 L/asistente/día

Fuente. RAS. 2000

4.1.4. Aguas Residuales Institucionales.

Se consideran aguas de consumo institucional para el sector de salud, seguridad y educación (RAS, 2000)

Se debe determinar con base a la información con base en información de consumos de entidades similares registrados en la localidad. Sin embargo, para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse en valores no mayores a 0,5 L/s. (RAS. 2000)

4.2. PROYECCIONES POBLACIONALES

Para calcular la proyección de la población se debe tener en cuenta el nivel de complejidad del sistema. Se calculará la población utilizando cualquiera de los siguientes modelos matemáticos: aritmético, geométrico y exponencial.

Tabla 3. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético, geométrico, exponencial, otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
Método gráfico	X	X		

Fuente. RAS. 2000

- **Método aritmético.** Supone un crecimiento natural, es decir, la diferencia entre los nacimientos y las defunciones de una determinada población. balanceado por la mortalidad así:

Ecuación 4. Método Aritmético.

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} X (Tf - Tuc)$$

Fuente. RAS. 2000

Donde:

- **P_f** = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
 - **P_{uc}** = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
 - **P_{ci}** = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
 - **T_{uc}** = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
 - **T_{ci}** = Año correspondiente al censo inicial con información.
 - **T_f** = Año al cual se quiere proyectar la información.
- **Método geométrico.** Es de gran importancia en poblaciones donde existe una importante actividad económica que genera un apreciable desarrollo. La ecuación que se emplea es:

Ecuación 5. Método Geométrico.

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

Fuente. RAS. 2000

Donde:

- **r**= Tasa de crecimiento anual en forma decimal.
- **P_f** = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- **P_{uc}** = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
- **P_{ci}** = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- **T_{uc}** = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
- **T_f** = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 6. Tasa de crecimiento anual. Método Geométrico

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

Fuente. RAS. 2000

- **Método exponencial.** Requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

Ecuación 7. Método Exponencial.

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

Fuente. RAS. 2000

- **P_f** = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- **P_{ci}** = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- **k** = tasa de crecimiento de la población.
- **T_{ci}** = Año correspondiente al censo inicial con información.
- **T_f** = Año al cual se quiere proyectar la información.

Donde:

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

Ecuación 8. Cálculo K, Crecimiento Poblacional. Método Exponencial

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Fuente. RAS. 2000

Donde:

- P_{cp} = Población del censo posterior (proyección del DANE).
- P_{ca} = Población del censo anterior (habitantes).
- T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior.
- T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior.
- L_n = Logaritmo natural o neperiano.

4.3. DETERMINACIÓN CAUDAL DE DISEÑO

4.3.1. Caudal Medio Diario De Aguas Residuales

El caudal medio diario de aguas residuales (Q_{md}) para un colector con un área de drenaje dada es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales. (RAS, 2000)

Ecuación 9. Caudal Medio Diario de Aguas Residuales.

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

Donde:

- Q_{MD} = Caudal medio diario de aguas residuales
- Q_D = Caudal de aguas domésticas
- Q_I = Caudal de aguas industriales
- Q_C = Caudal de aguas comerciales
- Q_{IN} = Caudal de aguas institucionales

Fuente. RAS. 2000

4.3.2. Caudal Máximo Horario de Aguas Residuales

El caudal máximo horario es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día máximo se estima a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración. (RAS, 2000)

Ecuación 10. Caudal Máximo Horario de Aguas Residuales

$$Q_{MH} = F \times Q_{MDf}$$

Donde:

- Q_{MH} = Caudal máximo horario.
- F = Factor de mayoración.
- Q_{MDf} = Caudal final medio diario.

Fuente. RAS. 2000

4.3.3. Factor de Mayoración

Este factor tiene en cuenta los patrones de consumo de la población y la medición de los caudales en las horas de mayor consumo, en caso de no tener información, se estima de acuerdo con la población servida en miles de habitantes con la ecuación de Flores

Ecuación 11. Ecuación de Flores

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

Donde,

F = Factor de mayoración (adimensional).

P = Población servida en miles de habitantes (hab/1000).

Fuente. RAS. 2000

De no contar con el dato de población servida se puede calcular con la ecuación de Los Ángeles para el rango de 2,8 a 28300 L/s, o la de Gaines para caudales medios entre 0,28 L/s y 4250 L/s; Con base en el caudal medio diario.

Ecuación 12. Fórmula de Los Ángeles

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

Donde:

- F = Factor de mayoración
- Q_{MD} = Caudal máximo diario

Fuente. RAS. 2000

Ecuación 13. Fórmula de Gaines

$$F = \frac{3.114}{Q_{MD}^{0.062}}$$

Donde:

- F = Factor de mayoración
- Q_{MD} = Caudal máximo diario

Fuente. RAS. 2000

Para cualquiera de las ecuaciones el factor de mayoración debe estar en un rango de 1.4 a 3.8.

4.3.4. Infiltración (Q_{inf}).

Se requiere que el diseñador justifique los valores de infiltración de aguas sub-superficiales, a través de fisuras en los colectores; Sin embargo, al no encontrarse estas medidas directas, el porte puede realizarse con la siguiente tabla:

Tabla 4. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L/s-ha)	Infiltración media (L/s-ha)	Infiltración baja (L/s-ha)
Bajo y medio	0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2
Medio alto y alto		0.1 – 0.3	0.05 – 0.2

Fuente. RAS. 2000

4.3.5. Conexiones Erradas (Q_{ce})

Se deben tener en cuenta los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, resultantes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios. Cuando las tuberías son separadas puede estimarse un valor no mayo a 0.2 L/S (RAS, 2000)

4.3.6. Caudal de Diseño

El caudal de diseño de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo Q_{MH} , los aportes por infiltraciones y conexiones erradas. (ministerio de desarrollo economico, 2000)

Ecuación 14. Caudal de Diseño

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

Fuente. RAS. 2000

4.4. PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE AGUAS RESIDUALES

- **Temperatura.** Es una propiedad física que define las características comunes de presencia o ausencia de calor las cuales en los que respecta a las aguas influye en el desarrollo de la vida acuática ya que muchos procesos biológicos dependen de éstas y pueden ser modificados. Las aguas residuales tienen temperaturas más elevadas que las aguas de abastecimiento. (Romero Rojas, 2000)
- **Sólidos.** Son sustancias que pueden ser de tipo orgánico (contienen carbono, hidrógeno y oxígeno) e inorgánico (sustancias inertes no degradadas, como los minerales). Se clasifican en sólidos suspendidos, disueltos y totales.
 - **Sólidos Suspendidos Totales.** Es la materia sólida visible que se encuentra flotando entre la superficie y el fondo de las aguas residuales y que pueden ser removidas por procesos de filtración o sedimentación. (Crites & Tchobanoglous, 2000)
 - **Sólidos Sedimentables.** Son aquellos sólidos que después de un proceso de filtración quedaron disueltos en las aguas residuales, requieren un tratamiento de oxidación biológica, coagulación y sedimentación. Son un 40% orgánicos y un 60% inorgánicos. (Rodie B & Hardenbergh, 1987)
- **pH.** Mide la concentración del ion hidrógeno en el agua, Se define como Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro. (RAS, 2000)

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

En aguas con un pH menor a 6 se realiza un tratamiento biológico que ayuda al crecimiento de hongos, ya que aquí el cloro tiene mayor poder bactericida. Las aguas con pH mayores a 8.5 se consideran tóxicas, pero igualmente se puede tratar por medio de arrastre con aire. (Romero Rojas, 2000)

- **Oxígeno Disuelto.** Es la concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L. (RAS, 2000)
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).** Indica la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar la materia orgánica carbonácea y nitrogenada mediante microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). (RAS, 2000)
- **Demanda química de oxígeno. (DQO).** Permite conocer la cantidad de materia orgánica no biodegradable, es decir es el oxígeno requerido para

oxidación química de la materia orgánica del agua residual, por medio de oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. (RAS, 2000)

- **Grasas y Aceites (GyA).** Desechos líquidos provenientes de la actividad comercial en las zonas urbanas de municipios y localidades. (Romero Rojas, 2000)

Para los análisis de laboratorio de los parámetros de medición de aguas residuales se tiene en cuenta la siguiente metodología descrita por Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Tabla 5. Características Análisis de Laboratorio

ANÁLISIS DE LABORATORIO				
Cantidad	Variable	Técnica analítica	Equipos	Precisión
9	pH unidades	Electrometría	Potenciómetro	+/- 0.06
9	Temperatura °C	Electrometría		
3	(Demanda Bioquímica De oxígeno (DQO5), mg/L O2”	Incubación a 5 días modificación de azida	Medidor de oxígeno Balanza analítica Incubadora	En términos de % CV entre 1.6 - 2.43
3	Demanda de química De oxígeno (DBO), mg/L O2”	Reflujo Cerrado	Bureta digital Bureta de vidrio Balanza analítica Microdigestor para micro DQO Termoreactor DQO	En términos de % CV entre 1 - 11.7
3	Grasas y Aceites, mg/L	Extracción Soxhilet	Extractor de Soxhilet Bomba de vacío Cabina extractora de vapores orgánicos Balanza analítica Horno de secado Rotavapor Desecador grande	N/A
3	Oxígeno Disuelto, mg O2 /L	Modificación azida	Botellas de incubación para DBO	En términos de % CV

				entre 0.66 – 2.64
3	Solidos suspendido	Gravimetría	Bomba de vacío Balanza analítica Horno digital	En términos de % CV entre 0.9 – 4.3

Fuente. Subdirección de Hidrología - Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007

4.5. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Es una estructura y unidad artificial que por medio de procesos químicos físicos y/o biológicos, permite la remoción de contaminantes total o parcialmente, reduciendo los niveles de contenido de materia orgánica y sustancia de carácter físico-química y biológica para una buena disposición de las aguas residuales al medio receptor, con el fin de cumplir con las normas ambientales y proteger la fauna y flora. (Comision Estatal de Agua de Jalisco, 2013) Etapas en el proceso de aguas residuales.

- 4.5.1. Tratamiento preliminar.** Debe realizarse por medio de procesos físicos y/o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasa, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento.
- 4.5.2. Tratamiento primario.** Es un tratamiento realizado mediante procesos que remueven una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual, usando sistemas sencillos de remoción, como operaciones físicas de sedimentación. (RAS, 2000)
- 4.5.3. Tratamiento Secundario.** Es aquel tratamiento que se realiza una vez terminados los procesos de sedimentación, decantación y homogenización, es el encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos. (RAS, 2000)
- 4.5.4. Tratamiento Terciario.** Es un tratamiento más completo, involucra procesos fisicoquímico o biológico de modo que se pueda lograr un alto grado de tratamiento superior al secundario; en este proceso se pueden remover varios parámetros como lo son: sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes. (RAS, 2000)

- **Filtro Percolador.**

De acuerdo al RAS 2000, es un sistema de tratamiento aerobio, el cual se encuentra en un tanque que contiene un lecho de material grueso, generalmente formado por materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles.

Los filtros percoladores se consideran reactores de crecimiento asistido, el cual se encuentra cubierto de limo biológico por medio de este se percola (paso lento de fluidos a través de materiales porosos) el agua residual. (Ramalho, 1996)

Los filtros percoladores tienen diferentes componentes en cada sistema:

- Un tanque séptico, que elimina los sólidos que se asientan y flotan de las aguas negras.
- Un tanque de dosificación/ clarificador. Permite que los materiales biológicos se sedimenten del agua.
- Un filtro percolador. Las aguas negras se distribuyen sobre el medio y fluyen hacia abajo a través de la superficie del medio en una capa fina. Luego, sale por abajo del tanque y fluye hacia el tanque de dosificación/ clarificador
- Un sistema de aplicación al suelo. Distribuye el agua tratada por debajo de la superficie del suelo

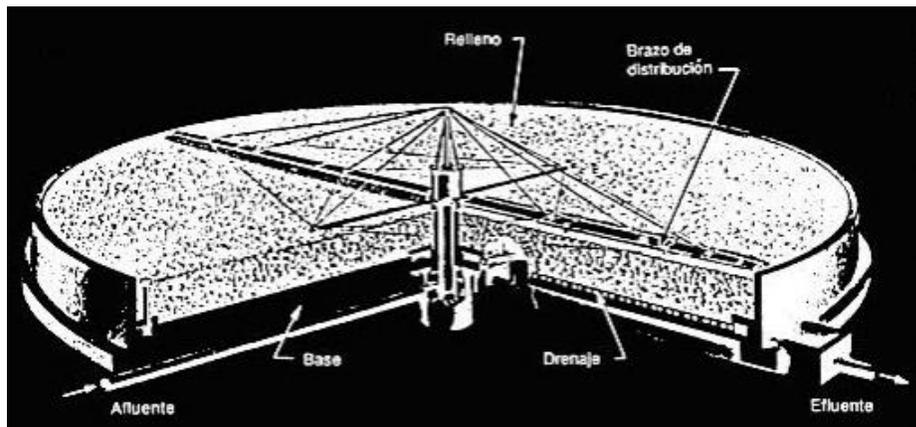


Tabla 6. Diagrama Filtro Percolador Típico, (Ramalho, 1996)

4.6. MANEJO DE LODOS.

4.6.1. Lechos de Secado.

De acuerdo con el RAS 2000, los lechos de secado son dispositivos que se encargan de eliminar el agua necesaria, con una humedad inferior al 70%, para que los lodos que quedan puedan manejarse como material sólido.

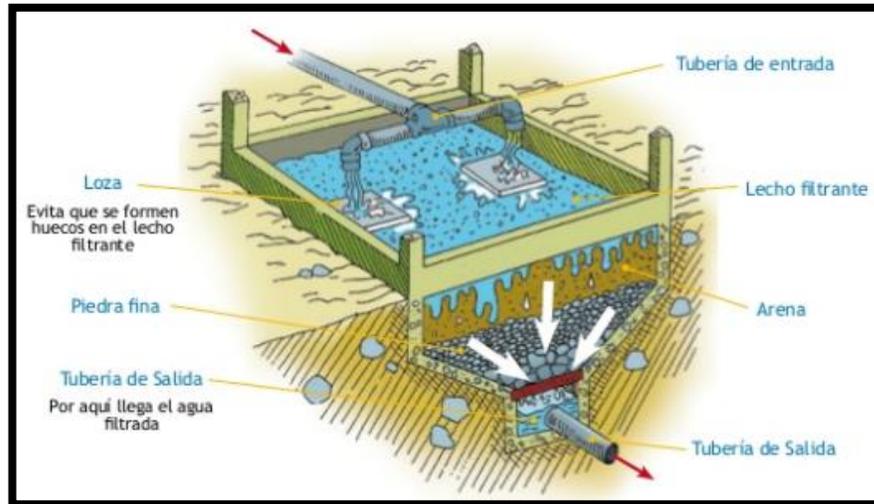


Tabla 7. Lecho de Secado, Manual técnico de difusión. Sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues, Perú, 2008

Tratamiento y evacuación de lodos.

Características de los lodos.

Los lodos principalmente pueden ser primarios debido a la sedimentación de las aguas residuales; secundarios debido al tratamiento biológico de las aguas residuales; digeridos debido a los tratamientos anteriores; generados por las plantas de ablandamiento y los generados de desarenadores y rejillas.

Tabla 8. Fuente de sólidos y de lodos en el tratamiento de aguas residuales

UNIDAD	TIPO DE SÓLIDO O LODO	OBSERVACIONES
Cribado	Sólidos gruesos	Los sólidos retenidos por la criba son removidos manual o mecánicamente
Desarenadores	Arena y espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en desarenadores
Pre aireación	Arena y espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en la pre-aireación. Puede ocurrir sedimentación de arena si no existen desarenadores antes de la pre aireación
Sedimentación primaria	Lodo y espuma primarios	La cantidad depende del tipo de agua residual afluyente
Tratamiento biológico	Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos son el resultado de la síntesis biológica de la materia orgánica
Sedimentación secundario	Lodo y espuma secundarios	La remoción de espuma es requisito exigido por la USEPA
Tratamiento de lodos	Lodo, compost, cenizas	El lodo obtenido depende de su origen y proceso usado en su tratamiento

Fuente: Ramalho R., "Tratamiento de aguas residuales", Barcelona 1996.

Los lodos crudos se caracterizan por su bajo contenido de sólidos (1-6%). Principalmente el tratamiento de lodos se va a centrar en agrupar los sólidos con la máxima remoción de agua, así mismo reduciendo su contenido orgánico. En las plantas de tratamiento de agua residual la generación de lodos está compuesta por materia orgánica que al descomponerse tiene el mismo efecto de las aguas residuales crudas.

4.7. ALCANTARILLADO SANITARIO

Este sistema de alcantarillado se diseña con el fin de recoger todas las aguas residuales de una población. (Lopez Cualla, 1995)

Para el alcantarillado se deben tener en cuenta varios caudales:

- Aguas residuales domésticas
- Aguas residuales industriales, comerciales e institucionales
- Aguas de infiltración
- Conexiones erradas.

4.7.1. Redes de Alcantarillado

Para el tratamiento de aguas residuales es importante el tipo de red de alcantarillado que se tiene. (Superservicios, 2013)

4.7.1.1. Descripción general de los tipos de redes de alcantarillado

En Colombia particularmente existen dos tipos de sistemas de redes de alcantarillado, el separado y el combinado. En el sistema de alcantarillado separado las aguas pluviales se transportan por drenajes o redes independientes de las redes que arrastran las aguas residuales. El sistema de alcantarillado combinado transporta aguas residuales y pluviales por el mismo conducto.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales actualmente tienen las tecnologías necesarias que garantizan la calidad deseada según la normatividad ambiental vigente. Dichas tecnologías permiten disminuir costos, ya que se obtiene una calidad de agua más óptima y así mismo poder hacer uso de esta. (Superservicios, 2013)

4.7.1.2. Caracterización general de las redes de alcantarillado en Colombia

Colombia ha logrado aumentar el déficit de cobertura de la red de alcantarillados y a su vez un mejoramiento en la calidad de estas aguas vertidas en las fuentes receptoras. Este esfuerzo ha ido acompañado de una intervención asertiva de los entes de control, vigilancia y regulación que ha permitido una mejora en la gestión integral del agua. (Superservicios, 2013)

Tabla 9. Tipos de redes de alcantarillado

TIPO DE REDES DE ALCANTARILLADO	PORCENTAJE DE SISTEMAS
Combinado	71.87
Separado	10.70
Sanitario	10.70
N/D	5.20
Tramos sanitarios y combinado	1.53
Total	100

Fuente: SUI.2012

4.7.2. Análisis Hidráulico de Tuberías

Descripción de los parámetros utilizados en los análisis hidráulicos de la tubería.

Tabla 910. Descripción Parámetros del Análisis Hidráulico

COLUMNA	DESCRIPCIÓN
De – A	Numeración del pozo e identificador del colector
Caudal de diseño (L/s)	Corresponde a la suma de los caudales máximos horario de aguas residuales, de infiltración y conexiones erradas.
Pendiente del terreno (%)	Pendiente del terreno. Es la diferencia de cotas rasantes dividido la longitud y multiplicada por 100.
Pendiente de la tubería (%)	Pendiente de diseño del colector en porcentaje. En los colectores iniciales y demás pozos se ha dejado 0,80 m de profundidad a la cota clave. El criterio general es mantener el alcantarillado lo más superficial posible, por lo que la pendiente a su primera aproximación se obtiene manteniendo la profundidad mínima a la clave de 0,80m. Dicha pendiente se va modificando, dependiendo del cumplimiento de los parámetros de diseño como velocidad real mínima, unión de colectores en el pozo por cotas claves.
Longitud (m)	Longitud del colector en metros.
Diámetro (m)	Es el diámetro teórico de la tubería en metros. Se emplea la ecuación de Manning con coeficiente n de 0.013 equivalentes a tubería en concreto.
Diámetro (pulg.)	Diámetro teórico de la tubería.
Diámetro colector (pulg.)	Diámetro nominal de la tubería. El mínimo es de 8 pulgadas.
Diámetro supuesto (pulg)	Diámetro de la tubería. Valor seleccionado de acuerdo a criterio.
Qo (L/s)	Caudal a tubo lleno. Es la capacidad máxima de la tubería, calculada para la sección de flujo máxima (con el diámetro interno real).
Vo (m/s)	Velocidad a tubo lleno. Calculada por la ecuación de continuidad.
Q /Qo	Relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno. Se utiliza para definir la profundidad hidráulica máxima en colectores de aguas lluvias puede ser la correspondiente a flujo lleno.
Y/d	Relación entre lámina de agua y el diámetro interno de la tubería. Estimado de tablas de relaciones hidráulicas
Vr/Vo	Relación entre la velocidad real y la velocidad a tubo lleno. Estimado de tablas de relaciones hidráulicas.

D/d	Relación entre profundidad hidráulica de la sección de flujo y el diámetro interno de la tubería.
R/Ro	Relación entre el radio hidráulico y el radio hidráulico a tubo lleno. Estimado de tablas de relaciones hidráulicas.
Y (m)	Altura de lámina de agua en metros. Es el producto de la columna y/d con la Dc multiplicado por 0.0254.
R (m)	Radio hidráulico para la sección de flujo (m).
Tensión cortante (N/m ²)	Esfuerzo cortante medio. Es el producto del peso específico del agua por el radio hidráulico y la pendiente del colector.
Vr (m/s)	Velocidad real en la sección de flujo en m/s. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,45 m/s para el caudal de diseño. Los Valores típicos de velocidad máxima permisible dependen de algunos materiales, ver tabla del RAS Cáp. D.
D	Profundidad hidráulica del agua en metros. El producto de la col. (26) por la col. (17) multiplicada por 0.0254.
V ² / 2G (m)	Altura de velocidad en metros. El producto de la columna (31) dividido dos veces la gravedad.
F	Numero de Froude. El cual define el régimen del flujo. NF<0.9 régimen subcrítico, NF>1.1 régimen supercrítico.
Dp (m)	Diámetro del pozo. Establecido de acuerdo a normas EAAB S.A. E.S.P.
Relación rc/d	Relación del radio de curvatura al diámetro de la tubería de salida. Determinada para evaluar la pérdida de energía en el pozo por cambios de dirección.
He (m)	Pérdidas de energía en el pozo por transición en metros. Las pérdidas por transición se calculan como un porcentaje de la diferencia de energía cinética entre la salida del pozo, siendo 0,1 si la velocidad aumenta y 0,2 si la velocidad disminuye.
Hc (m)	Pérdida de energía por cambio de dirección en metros. Corresponde a la perdida calculada según la ecuación de la energía cinética promedio entre colector entrante y el saliente. Se aclara que no todas las uniones tienen perdida por cambio de dirección.
H total (m)	Pérdidas totales en el pozo aguas abajo del tramo en consideración.
Cota Clave Superior (m)	Cota clave del pozo inicial del tramo. Para los tramos iniciales, esta cota corresponde a la cota rasante menos la profundidad a la clave de 0,8 m. Para los tramos aguas abajo, es igual a la cota batea (determinada en una columna posterior) más el diámetro interno de la tubería.
Energía Especifica	Energía especifica en metros. Suma de alturas de velocidad y lámina de agua en el tramo inicial.

Energía Específica	Energía específica en metros. Suma de alturas de velocidad y lámina de agua, en el tramo final.
Caída Tramo	Caída en el tramo igual a la longitud multiplicado por la pendiente.
Caída en la batea	Valor estimado en el diseño con rangos de 2 a 3 cm.
Cota Rasante Superior (m)	Cota rasante del pozo inicial del tramo.
Cota Rasante Inferior (m)	Cota rasante del pozo final del tramo.
Cota Clave Inferior (m)	Cota clave del pozo final del tramo. Es igual a la cota clave inicial menos la caída en el tramo debida la pendiente del colector, observando siempre el cumplimiento de la profundidad mínima a la cota clave.
Cota Batea Superior (m)	Cota Batea del pozo inicial del tramo. Para los tramos iniciales, es igual al clave menos el diámetro interno de la tubería. Para los tramos aguas abajo, se calcula como la cota de energía a la salida del pozo menos la energía específica en el colector saliente. Teniendo en cuenta que la cota batea saliente tiene que ser inferior a la cota de batea de todos los colectores entrantes.
Cota Batea Inferior m	Cota Batea del pozo final del tramo. Es igual a la cota batea inicial menos la caída debida a la pendiente del colector.
Recubrimiento Superior (m)	Recubrimiento superior es la Cota rasante superior menos la cota clave superior.
Recubrimiento Inferior (m)	Recubrimiento inferior es la Cota rasante inferior menos la cota clave inferior.
Cota Energía Superior (m)	Cota energía del pozo inicial del tramo. Para los tramos iniciales, es igual a la cota batea correspondiente más la energía específica del colector. Para los tramos aguas abajo, es la cota energía del punto anterior, descontándole la suma de las pérdidas.
Cota Energía Inferior (m)	Cota energía del pozo inicial del tramo. Es igual a la cota energía inicial menos la caída debida a la pendiente del colector.
Profundidad superior (m)	Es el valor entre el recubrimiento del tramo superior o inferior más el diámetro del colector.

Fuente. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, 1994

A continuación se presentan las ecuaciones para determinar los parámetros descritos en la anterior tabla.

- **Pendiente del terreno:**

Ecuación 15. Pendiente del terreno

$$P\% = \frac{Cr1 - CR*}{L} * 100$$

Fuente. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, 1994

Donde:

- **P%=** Pendiente del terreno
- **Cr=** Cota rasante
- **L=** Longitud (m)

- **Diámetro teórico**

Ecuación 16. Ecuación de Manning

$$D = 1.548 * \left(\frac{n * \left(\frac{Q}{100} \right)}{\frac{S^{\frac{1}{2}}}{100}} \right)^{3/8}$$

Fuente. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, 1994

Donde,

- **n=** Coeficiente de rugosidad
- **Q=** Caudal (L/s)
- **S=** Pendiente

Caudal a Tubo Lleno

Ecuación 17. Ecuación de Manning

$$Q = 0.7854 * \left(\frac{(D * 0.0254)^2}{n * \left(\frac{D * 0.0254}{4} \right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{S}{100} \right)^{1/2}} \right) * 1000$$

Fuente. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, 1994

Donde,

- **n**= Coeficiente de rugosidad
- **Q**= Caudal (L/s)
- **S**= Pendiente
- **D**= Diámetro (pulg)

Velocidad a Tubo Lleno

Ecuación 18. Ecuación de Continuidad

$$V = \frac{Q}{0.7584 * (D * 0.0254)^2 * 1000}$$

Fuente. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, 1994

Donde:

- **Q**= Caudal (L/s)
- **V**= Velocidad (m/s)
- **D**= Diámetro (pulg)

Profundidad Laminar

Ecuación 19. Profundidad Laminar

$$Y = D * \frac{Y}{d} * 0.0254$$

Fuente: (Mecánica de los Fluidos e Hidráulica,1994)

Donde:

- **Y**= Profundidad laminar (m)
- **Y/d**= Relación entre lámina de agua y el diámetro interno
- **D**= Diámetro (pulg)

Radio Hidráulico

Ecuación 20. Radio Hidráulico

$$R = \frac{R}{Ro} * \left(\frac{D * 0.0254}{4} \right)$$

Fuente: (Mecánica de los Fluidos e Hidráulica,1994)

Donde,

- **R**= Radio hidráulico (m)
- **R/Ro**= Relación entre el radio hidráulico y el radio hidráulico a tubo lleno
- **D**= Diámetro (pulg)

Tensión Cortante

Ecuación 21. Tensión cortante

$$T = 9810 * R * \frac{S}{100}$$

Fuente: (Mecánica de los Fluidos e Hidráulica,1994)

Donde:

- **T**= Tensión cortante (N/m²)
- **R**= Radio hidráulico (m)
- **S**= Pendiente

Velocidad Real

Ecuación 22. Velocidad real

$$Vr = Vo * \frac{Vr}{Vo}$$

Fuente. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, 1994

Donde,

- **Vr**= Velocidad real (m/s)
- **Vo**= Velocidad tubo lleno (m/s)
- **Vr/Vo**= Relación entre la velocidad real y la velocidad a tubo lleno

4.8. RELACIÓN BENEFICIO – COSTO

Es donde se suma todos los beneficios económicos de un determinado proyecto, acción o situación en cuanto al plante monetario, sin embargo, existen beneficios intangibles como los beneficios sociales y ambientales, los cuales no se pueden sumar de manera monetaria, pero se deben tener en cuenta para su análisis.

También suma todos los costos que se requieren para llevar a cabo el proyecto, como costos administrativos, imprevistos, interventoría además de la inversión inicial del proyecto. Cuando se hace el análisis de dicha relación es necesario tener en cuenta que si el valor es mayor a 1 este proyecto es viable y no es necesario llevar a cabo otro diferente, de ser menor a 0 este proyecto no es viable y por ende se requiere revisar otra propuesta de trabajo; Si la relación da 0 es proyecto se debe evaluar con mayor veracidad para poder tomar la decisión de si se ejecuta o no el proyecto. (Rojas López, 2015)

5. MARCO GEOGRÁFICO.

5.1. DESCRIPTORES FÍSICOS MUNICIPALES Y URBANOS

5.1.1. Localización. Según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Tena el municipio se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca bajo las siguientes coordenadas geográficas en el centro del municipio.

Tabla 11. Coordenadas Municipio Tena

COORDENADAS	MUNICIPIO	CABECERA MUNICIPAL
LATITUD	4° 35' y 42'	4° 37' 40"
LONGITUD	74° 20 y 74° 27'	74° 24' 18"
ALTITUD	800 y 2300 msnm	1384 msnm
DISTANCIA A CAPITAL (Bogotá)		66 km.

Fuente EOT. (Esquema de Ordenamiento Territorial) Tena 2009

De acuerdo a la Alcaldía de Tena, el municipio limita al norte con Bojacá, al occidente con la Mesa, al oriente con San Antonio del Tequendama y al sur con el Colegio.

5.1.2. Extensión Territorial. La extensión territorial del municipio está dada en la siguiente tabla

Tabla 12. Extensión Territorial Municipio Tena

EXTENSIÓN	ÁREA (Ha)
Extensión total	5000
Extensión área urbana	25
Extensión área rural	4975

Fuente EOT. (Esquema de Ordenamiento Territorial) Tena 2009

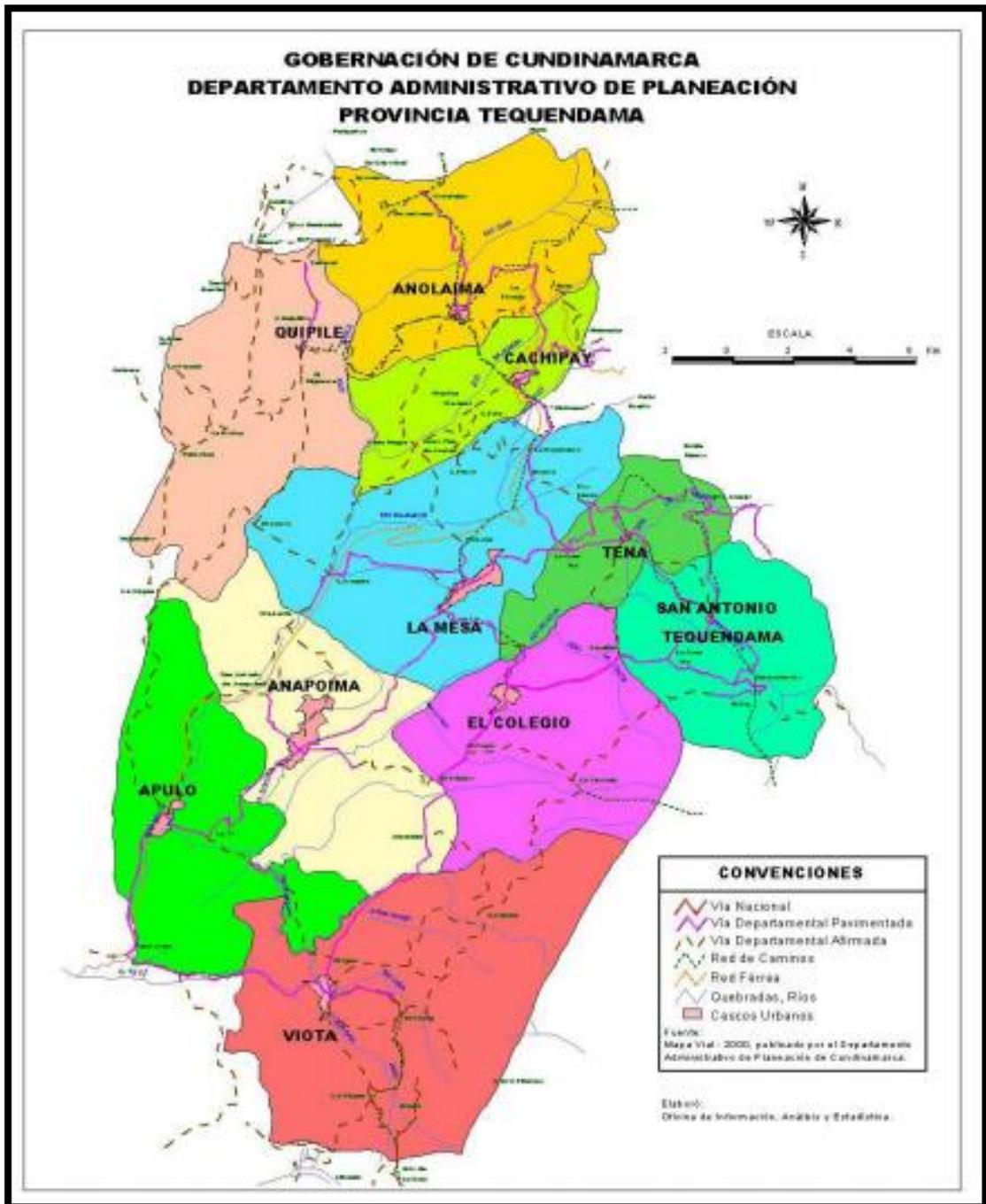


Tabla 13. Mapa Provincia Tequendama. Gobernación de Cundinamarca 2012

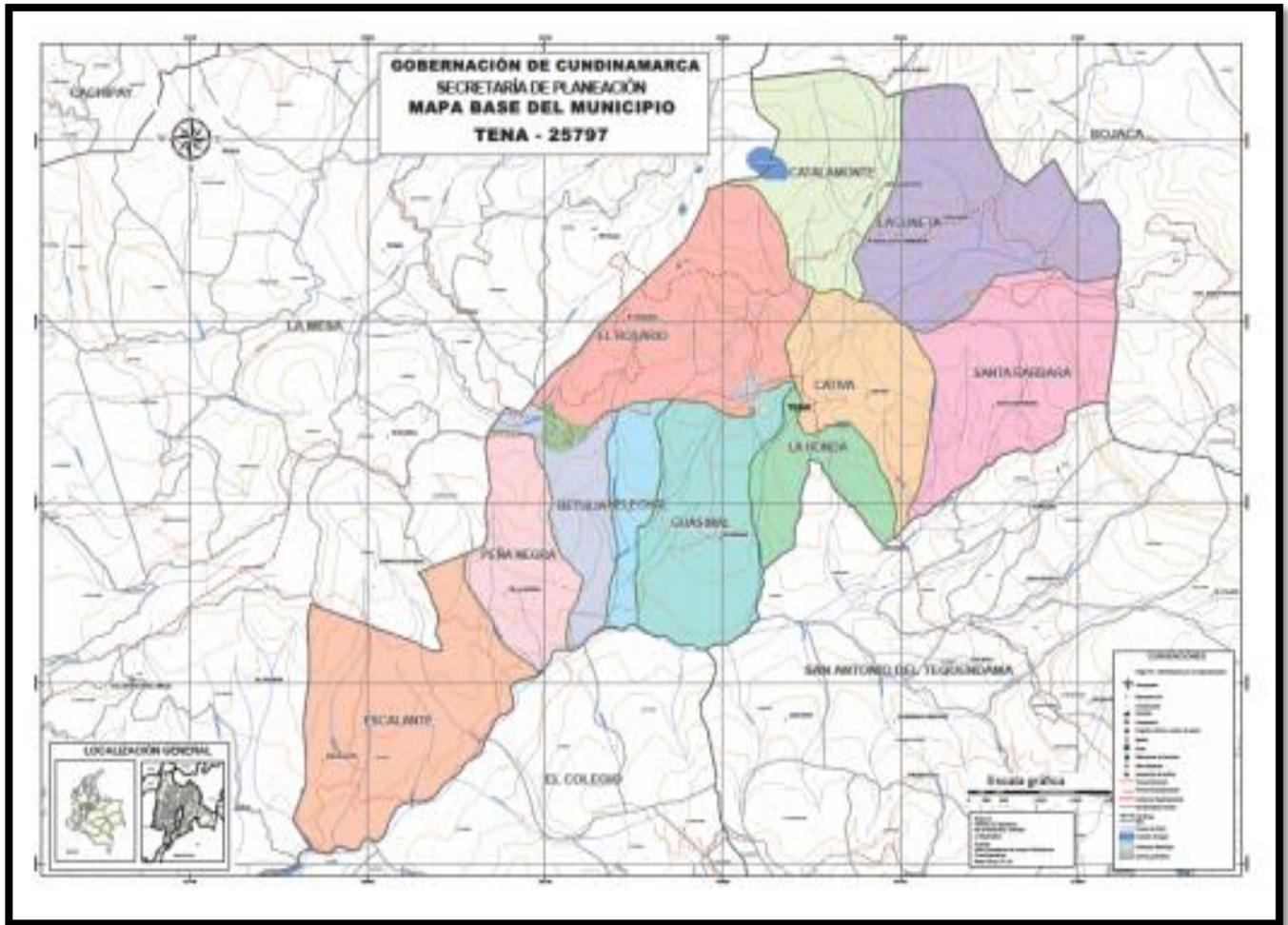


Tabla 14. Mapa División Territorial Municipio de Tena. EOT Tena, 2009

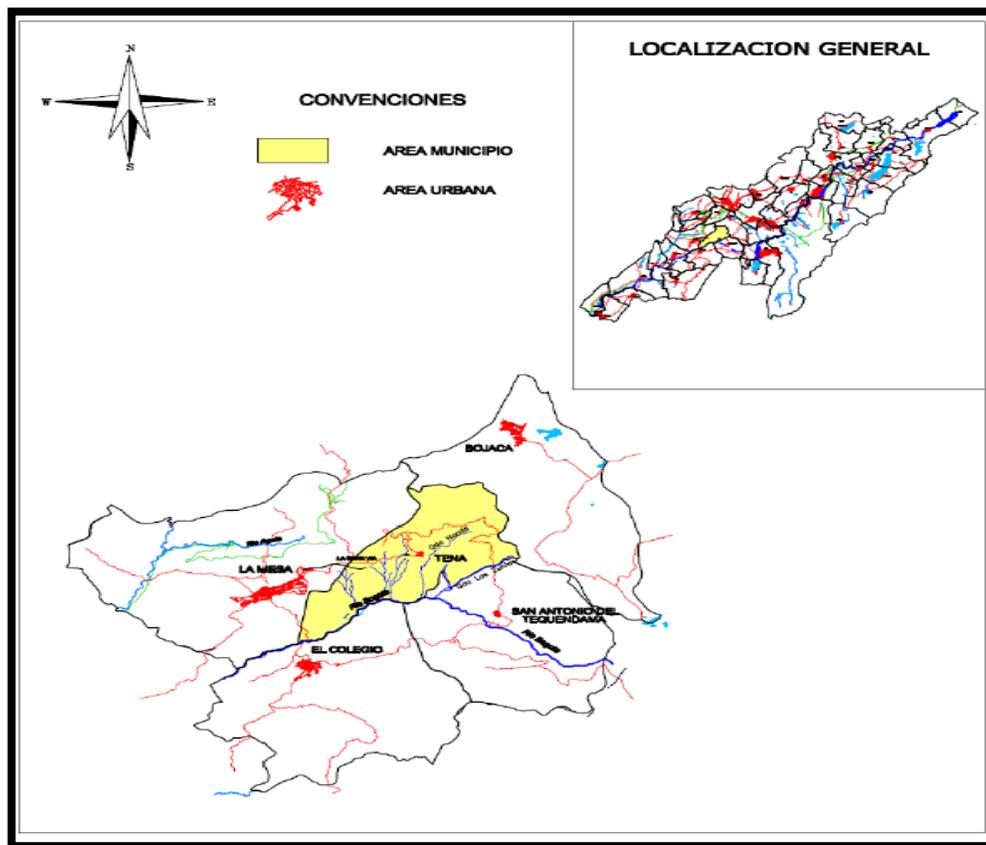


Tabla 15. Localización general municipio de Tena. Informe Final Tena, versión 2. CAR – Latin Consults

5.2. GEOMORFOLOGÍA.

De acuerdo con el estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector rural de las Veredas Helechal y Guasimal del municipio de Tena departamento de Cundinamarca, realizado en el año 2012; Se considera que el municipio presenta un ambiente morfogenético denudacional-estructural y antrópico. Donde se encuentran las siguientes unidades: Colinas y lomas denudacionales estructurales, Escarpe menor de origen estructural denudacional sobre contrapendientes, Colinas y lomas estructurales denudacionales muy disectadas y pendientes muy fuertes, Escarpe mayor de origen estructural denudacional, Unidad de origen estructural denudacional sobre pendiente estructural sobre rocas sedimentarias clásticas y territorios Artificializados. (Estudio Geológico y Caracterización Geotécnica en el Sector Rural de las Veredas Helechal y Guasimal del Municipio De Tena Departamento De Cundinamarca, 2015)

Tabla 16. Clasificación Geomorfológica

UNIDAD	SÍMBOLO	VALOR	ÁREA (km ²)	%
Áreas urbanas	Au	3	10.257	3.8
Colinas y lomas denudacionales estructurales	Edc	3	52.24	19.49
Escarpe menor de origen estructural denudacionales sobre contrapendientes	EDe2	2	36.95	13.787
Colinas y lomas estructurales denudacionales muy disectadas y pendientes muy fuertes	EDd	4	20.1	7.5
Escarpe mayor de origen estructural denudacional	EDe1	2	19.49	7.304
Unidad de origen estructural denudacional sobre pendiente estructural sobre roca sedimentarias clásicas	EDp	3	128.96	48.119

Fuente. Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector rural de las Veredas Helechal y Guasimal del municipio de Tena departamento de Cundinamarca, 2012.

- **Denudacional.** Desprendimiento o desaparición de la parte más externa de la corteza terrestre a causa de la erosión. (Carenas & Giner, 2014)
- **Disectado.** Cortado o erosionado verticalmente por el agua, esto en épocas de lluvia transportando material de manera turbulento. (Carenas & Giner, 2014)
- **Escarpe.** Pendiente o inclinación muy pronunciada de un terreno. (Carenas & Giner, 2014)

5.3. USOS DEL SUELO

De acuerdo con el EOT Esquema de Ordenamiento Territorial los usos del suelo en el municipio de Tena están comprendidos primordialmente por praderas establecidas en pasto Kikuyo, el cual se usa para ganadería en un bajo porcentaje; otro de sus usos son cultivos limpios transitorios dentro de los cuales se encuentra cultivos de: papa, alverjas, habichuelas, tomate de árbol y floricultura.

Se observan procesos moderados de erosión laminar en las áreas ocupadas por pastos (terracetas) y cultivos limpios. Además, deslizamientos de diferentes grados, aligerados por el mal manejo de las aguas superficiales que producen frentes de alta infiltración, ocasionando remociones en masa con sus correspondientes efectos de sedimentación y eventuales represamientos.

Se presenta, además, con importantes implicaciones ambientales, el desarrollo de un comercio en el corredor vial, y un acelerado proceso de división de la tierra (parcelaciones para condominios y fincas de recreo) que aumenta la problemática de saneamiento ambiental, de uso de agua y de deforestación. (EOT, Tena. 2006)

5.4. TOPOGRAFÍA

El municipio a nivel topográfico tiene cuatro niveles, que se describe en el EOT del municipio:

- **Ligeramente ondulado.** (menor del 15% de pendiente) cubriendo principalmente a las veredas Escalante, parte baja de Peña Negra, de Betulia, del Helechal y de Guasimal.
- **Ligeramente quebradas.** (15% a 30% de pendiente) cubriendo la mayor parte de las veredas de Betulia, Guasimal y Peña Negra; y en menor porcentaje a la Honda, Escalante, la parte centro, el Rosario y Santa Bárbara.
- **Terrenos quebrados.** (30% a 45% aproximadamente) cubriendo las veredas la Honda, Cativa, Rosario, Laguneta y la parte centro.
- **Fuertemente quebrada.** (mayor de 45% de pendiente) cubriendo las partes altas del municipio, sugiriendo estas zonas como reserva forestal

5.5. HIDROLOGÍA

El municipio se encuentra ubicado en la cordillera oriental y lo baña el río Bogotá (aunque no presta ningún servicio debido a su alta toxicidad a causa de la contaminación), por la margen izquierda de la cuenca del río desembocan diferentes afluentes entre los cuales se encuentran las quebradas La Honda, La Coyancha, Las Delicias, Guayacana, Guasimal, Casa Pintada, Negra, Zapata, Isidro y los Totumos. En la parte sur del Municipio, cuenta con la quebrada La Honda que cruza por el cerro Santo Domingo. En cuanto a la Hidrología del municipio de Tena está representada en la microcuenca de la Quebrada Honda, que pertenece a la cuenca baja del río Bogotá. (Estudio Geológico y Caracterización Geotécnica en el Sector Rural de las Veredas Helechal y Guasimal del Municipio De Tena Departamento De Cundinamarca, 2015)

5.6. CLIMA

Precipitación: 1600mm

Humedad Relativa: Tiempo seco 70%
Tiempo de lluvia 90%

Tabla 17. Pisos Térmicos Municipio Tena

PISOS TÉRMICOS	EXTENSIÓN (Ha)	%
Clima cálido	1100	22
Clima medio	3100	62
Clima frío	800	16

Fuente EOT. (Esquema de Ordenamiento Territorial) Tena 2009

6. DISEÑO METODOLÓGICO.

El proyecto fue desarrollado teniendo en cuenta la problemática donde existen causas físicas y sociales. Con una investigación documental y de campo mediante la realización de tres fases que constan de las siguientes actividades:

6.1. PRIMERA FASE

6.1.1. Recolección de información

Inicialmente se realizó la recolección de información secundaria (descripción del lugar, estudios anteriores de la PTAR, documentos de autoridades ambientales, EOT de Tena); adicionalmente se obtuvo información de los censos poblacionales del municipio de Tena, tomados del DANE y la Alcaldía del municipio.

La información que se tomó de primera mano consta de una visita donde se tomaron medidas para dimensionar la PTAR y un levantamiento topográfico para la verificación de las tuberías que conectan el alcantarillado y la planta. En esta visita fue necesario el uso de mapas cartográficos del municipio a escala 1:25.000 y elementos de medición topográfica (Teodolito, Nivel, mira).

6.1.2. Dimensionamiento de la PTAR

Con el objeto de apoyar en la realización de los planos de la PTAR, se realizó una visita al lugar donde se hizo el reconocimiento de la PTAR que ya se encontraba construida; se realizó el respectivo levantamiento topográfico y se tomaron las dimensiones y características de todo el sistema para la elaboración de los planos en AUTOCAD.

6.1.3. Levantamiento topográfico

Para realizar el levantamiento topográfico, fueron necesarios los siguientes elementos para tomar las dimensiones topográficas teodolito, mira, nivel con el fin de medir las pendientes entre diferentes pozos y puntos de control que se tienen antes de la llegada de las aguas residuales a la PTAR por medio de la interconexión del alcantarillado y la planta. Se realizó la verificación de las tuberías de la interconexión del alcantarillado y la PTAR; así mismo se verificó la instalación de las mismas.

6.2. SEGUNDA FASE

6.2.1. Toma de muestras

Se realizaron dos visitas de campo, en una se evaluaron los parámetros físicos del afluente y efluente con el multiparámetro, además de realizarse aforos con molinete, cinta métrica y mira. En la segunda visita se tomaron las muestras de agua; se llevaron frascos de muestra y nevera para conservar el estado del agua y proseguir con el respectivo análisis de pH, DQO, DBO y Sólidos Suspendidos Totales en el laboratorio QUIMCONTROL-LTDA utilizando las siguientes características de muestreo.

Tabla 18. Características del Muestreo

CARACTERISTICAS DEL MUESTREO						
No. Puntos	Descripción Del Punto	Tiempo De Muestreo	Variables In-Situ	frecuencia de medición	N° Mediciones Por Punto	N° Total De Mediciones
3	Agua Residual	1 hora	PH	20 min	3	9
			Temperatura	20 min	3	9
			Caudal	20 min	3	9
			Sólidos Sedimentables	20 min	3	9
			Oxígeno Disuelto	20 min	3	9

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017.

PUNTOS DE MUESTREO Y VARIABLES IN – SITU

Entrada a la Planta

Descarga de vertimientos

6.2.2. Proyección de población

Se tomaron los censos poblacionales del DANE de los años 1938, 1951, 1964, 1973, 1985, 1993 y 2005; con los que se realizó la proyección para los años 2016, 2026 y 2039, con los métodos aritmético, geométrico y estadístico descritos en el RAS 2000 para niveles de baja complejidad. Posteriormente se determinó el consumo bruto, para determinar el caudal de diseño. Se tiene en cuenta el 100% de la población de área urbana y el 6% de la población de área rural ya que la planta se construyó para una población de proyecto estimada bajo estos términos.

6.2.3. Sistema de tratamiento

Se procede a analizar los parámetros físicos y químicos del afluente y efluente, para determinar la caracterización y descripción del sistema de tratamiento de la planta como se encuentra en el momento del estudio, para determinar el funcionamiento de las partes del sistema, indicando los posibles impactos ambientales, sociales y económicos que se pueden presentar.

6.2.4. Comparación con la normatividad

Con los análisis obtenidos en la toma de muestra se revisó la resolución 631 de 2015, para verificar el cumplimiento de los índices de calidad de vertimiento de aguas residuales.

6.3. TERCERA FASE

6.3.1. Parámetros de mejora

Se formularon acciones encaminadas al mejoramiento de la planta tomando como referencia los cálculos de caudal de diseño proyectado para el año 2036, rediseñando la planta para determinar las partes del sistema que necesitan adecuación, por medio de un análisis cualitativo y general de resultados obtenidos de las estructuras que conforman el sistema de tratamiento para el control de contaminación de los efluentes líquidos vertidos en la Quebrada Los Micos.

6.3.2. Estudio beneficio-costos

Se estimó el beneficio ambiental, social y económico que se tiene cuando la PTAR funciona de manera adecuada, luego de haber evaluado el funcionamiento y obtenido los parámetros de optimización de la misma; teniendo en cuenta la inversión inicial del proyecto, los costos que pagaría el municipio por multas en el incumplimiento en vertimientos, la tasa de retorno del municipio y el costo por personas que presentan enfermedades diarreicas.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

7.1. PRIMERA FASE

7.1.1. Dimensionamiento de la PTAR

En la primera visita que se le hizo a la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó la medición de las diferentes partes de la PTAR, para hacer el dimensionamiento de la misma y así poder realizar los planos. Como se muestra en la siguiente tabla:

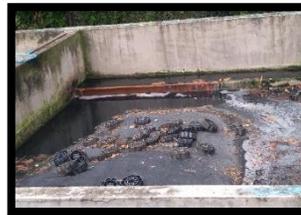
Tabla 19. Dimensionamiento PTAR Tena

DIMENSIONES		FOTO	
Trampa de grasas			
Ancho	Largo		
1.50 m	2.00 m		
Entrada PTAR			
Ancho	Largo		
5.40 m	0.60 m		
Separación			
Ancho	Largo		
5.40 m	0.15 m		

Sedimentador Primario	
Ancho	Largo
5.40 m	7.36 m
Separación	
Ancho	Largo
5.40 m	0.15 m
Vertedero	
Ancho	Largo
5.40 m	1.40 m
Separación	
Ancho	Largo
5.40 m	0.15 m
Anillos de propileno	
Ancho	Largo
5.40 m	7.20 m
Separación	
Ancho	Largo
5.40 m	0.15 m
Vertedero	



Ancho	Largo
5.40 m	1.40 m
Separación	
Ancho	Largo
5.40 m	0.15 m
Sedimentador de tasa alta	
Ancho	Largo
5.40 m	8.35 m
Filtro percolador	
Ancho	Largo
3.00 m	8.35 m
Separación	
Ancho	Largo
3.00 m	0.15 m
Vertedero	
Ancho	Largo
3.00 m	1.40 m



Separación	
Ancho	Largo
3.00 m	0.15 m



Sedimentador de tasa alta	
Ancho	Largo
3.00 m	7.20 m
Separación	
Ancho	Largo
3.00 m	0.15 m



Vertedero	
Ancho	Largo
3.00 m	1.40 m
Separación	
Ancho	Largo
3.00 m	0.15 m



Cama de coque	
---------------	--

Ancho	Largo
3.00 m	7.96 m
Distancia hasta las escaleras de aireación	
Largo	Tubería
6,82 m	12"
Número de Escalones	
7	
Ancho	Largo
1.50 m	2.15 m



Fuente. Autores del proyecto, 2017

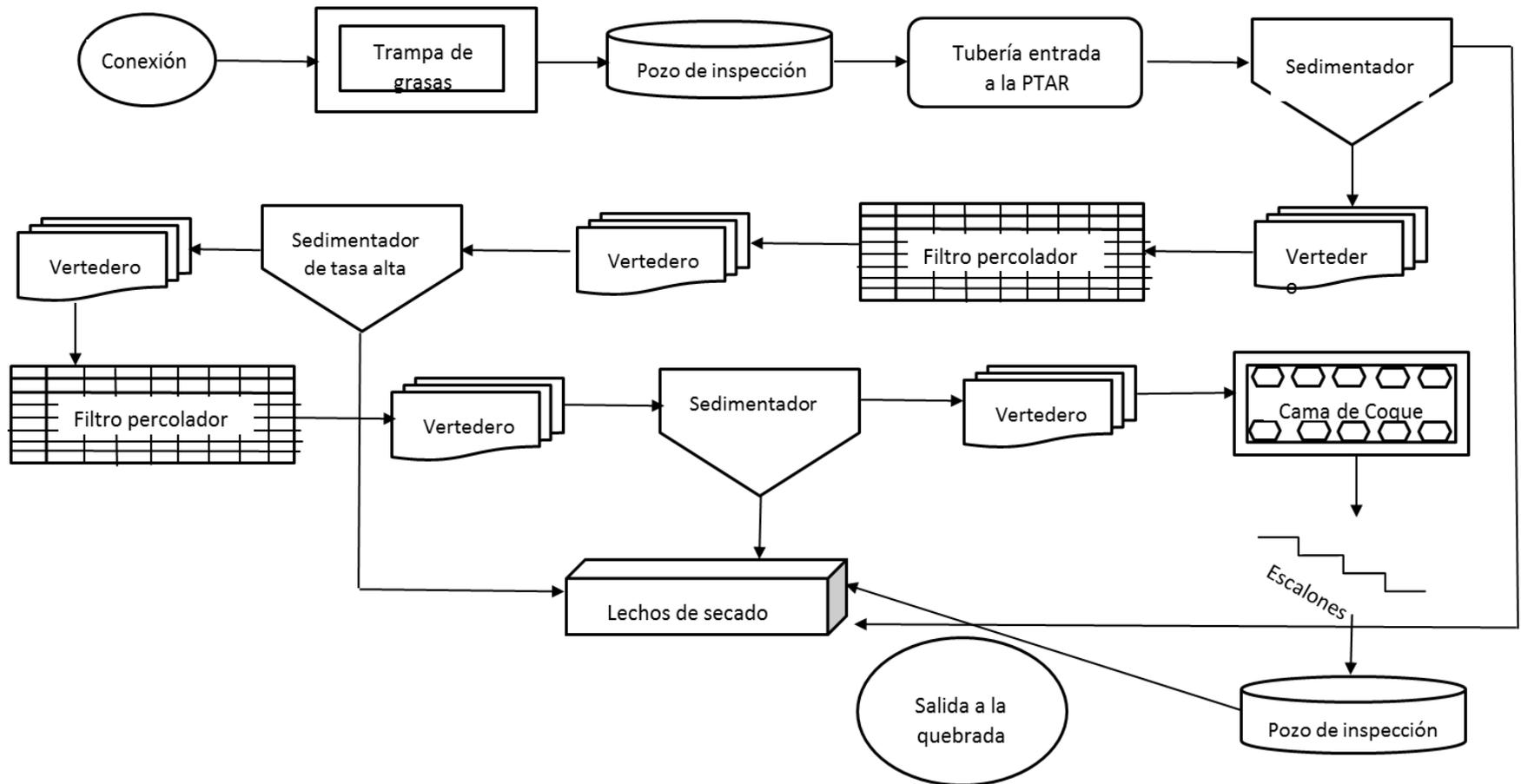


Tabla 20. Diagrama de Procesos. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Municipio de Tena, Autores del proyecto, 2017.

7.1.2. Descripción de la PTAR.

La cuarta visita que se realizó a la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Tena fue el día 5 de diciembre de 2016, donde se identificó el funcionamiento de la misma; a continuación, se describen cada una de las partes del sistema y cómo se encontró la planta en dicha visita.

- **Trampa de grasas.** La trampa de grasas de la PTAR no se encontraba buen estado ya que había aglomeración de grasas y aceites, debido a que la operación en esta no estaba siendo la adecuada, además no se contaba con alguien encargado del mantenimiento de la misma.

Tabla 21. Trampa de grasas



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

- **Sedimentador primario.** Se contaba con un sedimentador de este tipo en la PTAR, el cual cumplía con la sedimentación de partículas, generando una remoción de estas en un 87% (Figura 11. Balance de Cargas).
- **Vertederos.** Los vertederos de la PTAR se encontraban bien diseñados, ya que controlaban el flujo de las aguas residuales dentro de la planta, para los procesos realizados dentro de la misma.
- **Filtro percolador.** Estos filtros tienen como medios filtrantes anillos de polipropileno, pero estos no se están dispuestos en los filtros con las características adecuadas, simplemente están dispuestos sobre la superficie de los filtros, además se encuentran disposición de residuos en esta parte del sistema.

Tabla 22. Filtro percolador



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

- **Sedimentador de tasa alta.** Como el valor de los sólidos sedimentables se tomaron in situ, se pudo identificar la disminución de los mismos.
- **Escalones.** Existe un sistema de cascada de 7 escalones para aireación del agua que es vertida a la quebrada Los Micos.
- **Lechos de secado.** Los lechos de secado sirven para secar los lodos digeridos en los diferentes procesos dentro de la PTAR, no fue posible el ingreso hasta los lechos de secado debido al estado de la planta, sin embargo se encuentran en un estado desfavorable como se muestra en la siguiente fotografía.

Tabla 23. Lechos de secado



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

7.1.3. Planos

A continuación, se pueden observar los planos en los cuales se tomó la información recolectada por los autores del proyecto y fueron elaborados por la empresa INGAMEG LTDA en el año 2017, en formato de imagen, para mayor veracidad se adjuntan los planos en PDF y AUTOCAD, en los Anexos 1, 2, 3 y 4.

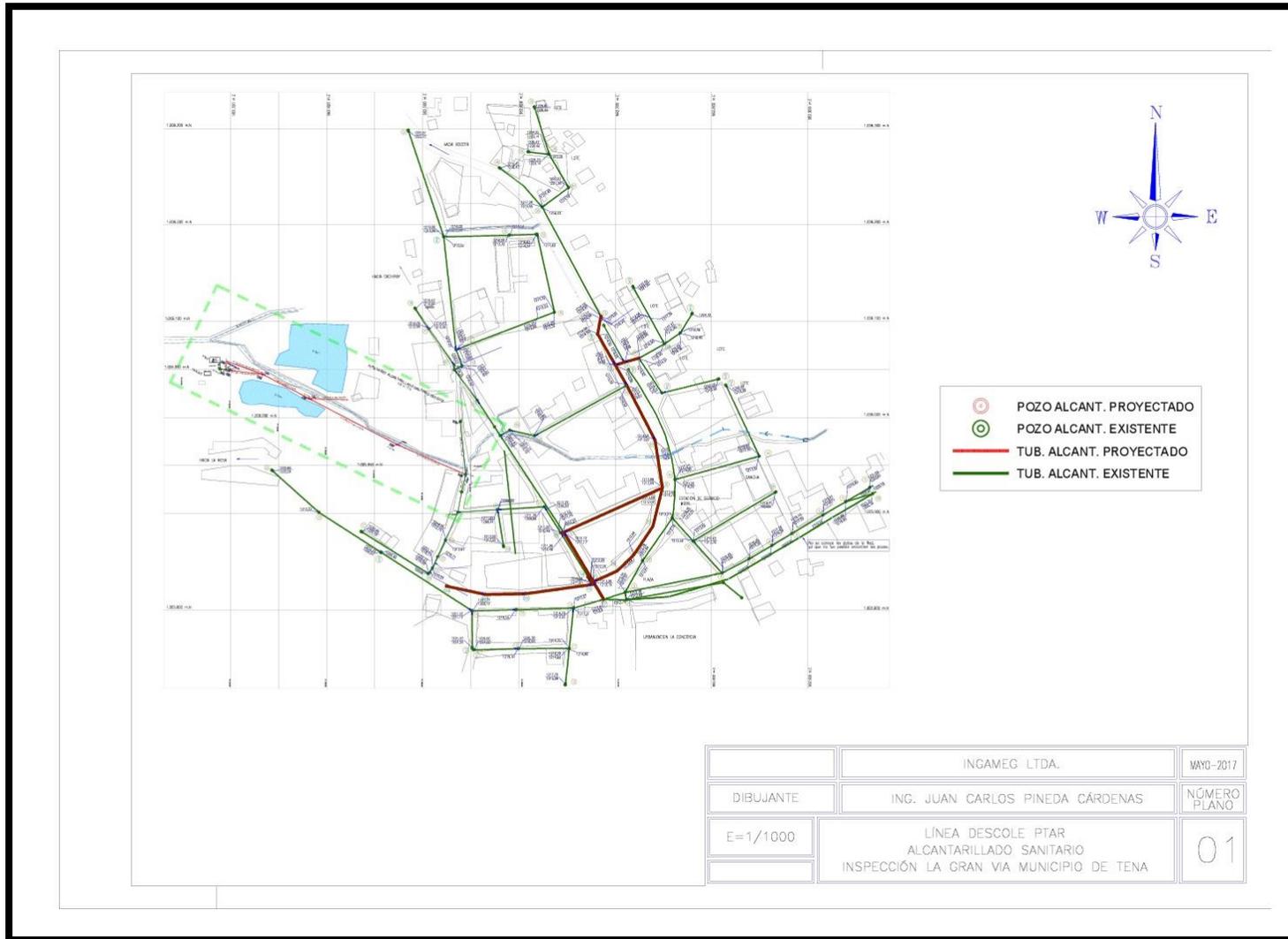


Tabla 24. Plano 1. Conexión PTAR al Alcantarillado
 Fuente: INGAMEG Ltda, 2017.

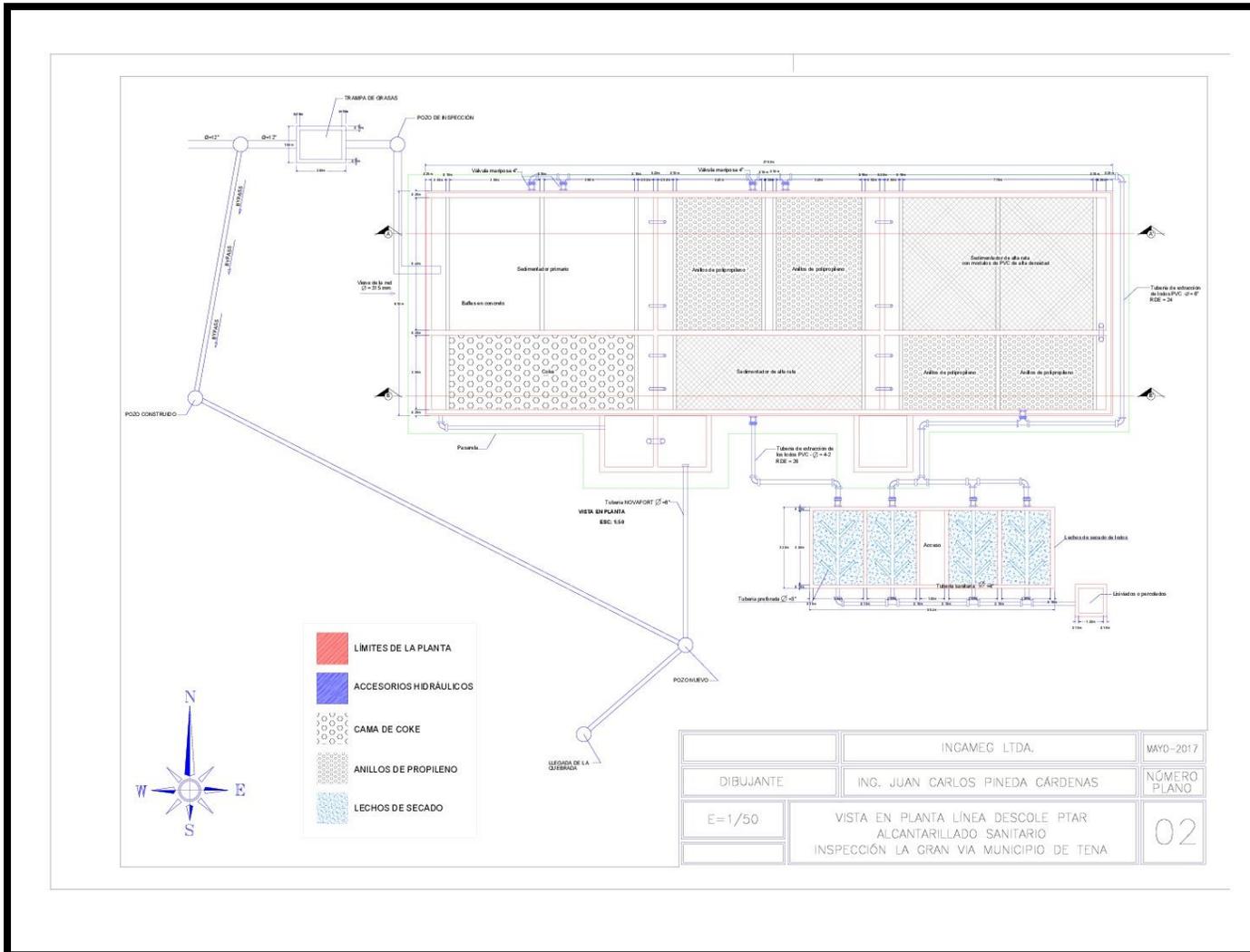


Tabla 25. Plano 2. Planta de la PTAR
Fuente: INGAMEG Ltda, 2017.

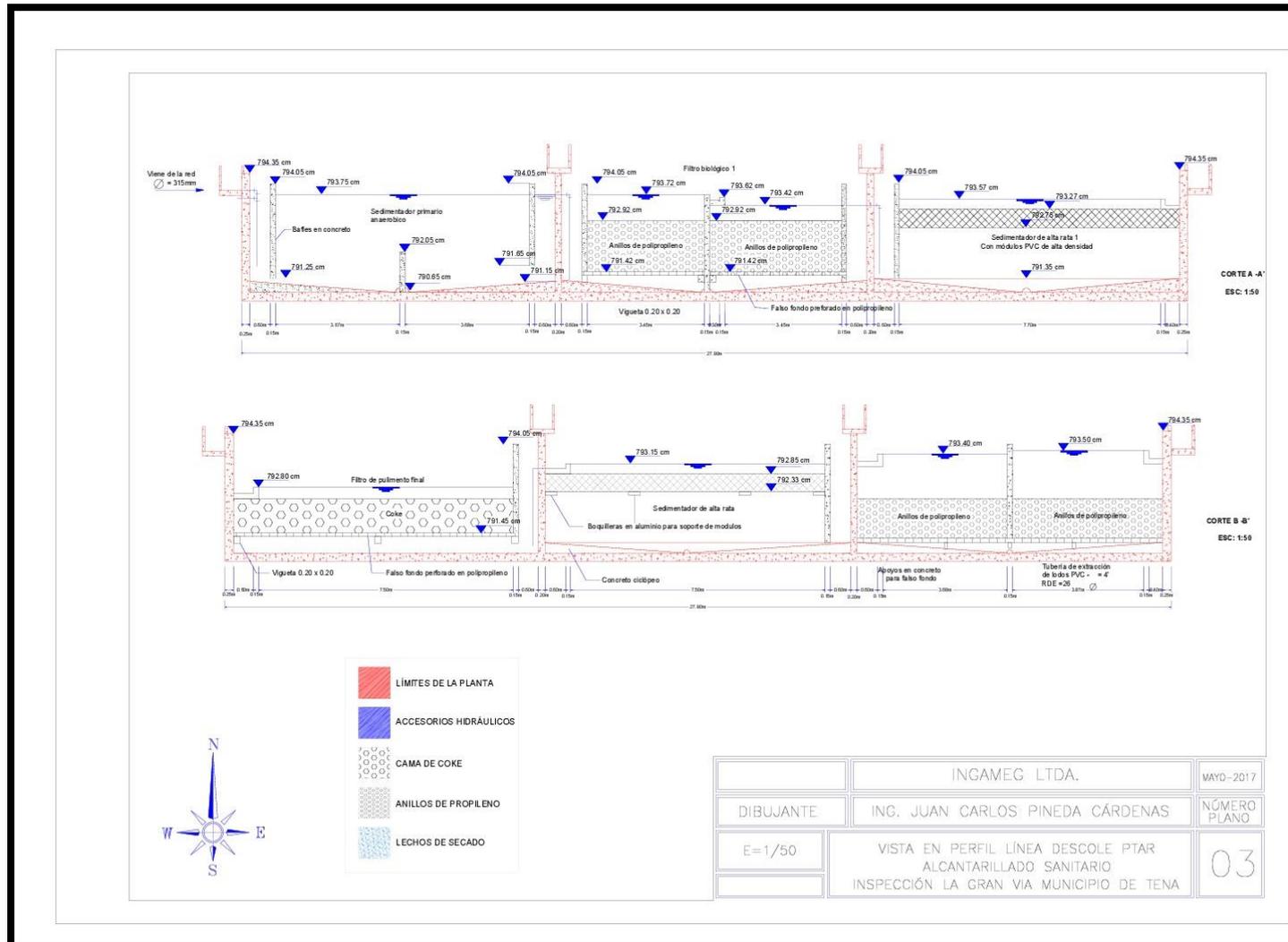


Tabla 26. Plano 3. Perfil de la PTAR
Fuente: INGAMEG Ltda, 2017.

7.1.4. Levantamiento topográfico

En la primera visita de campo junto a la toma de medidas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tena, se hizo el levantamiento de las tuberías de la conexión del alcantarillado y la PTAR. Utilizando los siguientes equipos de medición.

Lo que se buscó con las tuberías era que ellas trabajaran bajo la gravedad, lo cual serviría para que el flujo de agua fuera directo hasta la PTAR sin necesidad de usar una bomba para que el agua llegara hasta los pozos y el desarenador de la misma. Como se ve en los datos la pendiente, aunque no demasiado sí fue disminuyendo, lo que genera que la llegada de las aguas residuales al desarenador de la PTAR trabaje por gravedad sin necesidad de usar un equipo diferente que haga llegar el flujo de agua a la planta.

Esto ayuda a controlar el caudal del agua para que no se eleve en gran cantidad y poder hacer un sistema mucho más fácil de manejar, además de que esto genera poca pérdida de la energía y agua por las diferentes causas de un sistema hidráulico como la fricción, fuerza, altura.

Tabla 27. Levantamiento Topográfico

	PZ	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4
COTA DE SALIDA (msnm)	1211,29	1210,65	1209,21	1207,68	1207,30
COTA DE LLEGADA (msnm)	1210,65	1209,21	1207,68	1207,30	1206,91
LONGITUD ENTRE POZOS(m)	55,30	78,00	103,00	54,00	35,20
FOTOGRAFÍA					

Fuente: Autores del proyecto, 2017.

Tabla 28. Tramos Interconexión Alcantarillado a la PTAR

TRAMOS	INICIO	FINAL	DIÁMETRO (PULGADAS)	LONGITUD (m)
1	PZ1	PZ2	14	78.00
2	PZ2	PZ3	14	103.00
3	PZ3	PZ4	14	54.00
4	PZ4	PZ5	20	35.20

Fuente: Autores del proyecto, 2017.

Basados en la visita de campo que se realizó para el dimensionamiento de la PTAR y el levantamiento topográfico, se efectuó una evaluación de las tuberías de la conexión del alcantarillado y la planta, donde se observó que para la unión de las mismas se realizaron cuatro tramos complementarios de las tuberías entre los pozos de control, con la topografía antes relacionada. Las tuberías se tomaron con un diámetro de 14", para cumplir con el caudal de diseño que se encuentra en la Tabla 19. Caudal de diseño. Las longitudes son iguales a las distancias que existen entre los pozos.

7.1.5. Análisis hidráulico de tuberías

Los pozos de inspección suministran el acceso para inspección y limpieza y están localizados en los cambios de dirección, cambios en el tamaño de la tubería, cambios sustanciales en pendiente y a intervalos de 50 a 110 metros en líneas rectas. El caudal comúnmente es calculado mediante la ecuación de Manning.

Ecuación 23. Ecuación de Manning

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Fuente. Hidráulica de Canales Fundamentos, 2002

Donde:

- **R (h)** = radio hidráulico, en m, que es función del tirante hidráulico h.
- **n** = coeficiente que depende de la rugosidad de la pared.
- **S** = la pendiente de la línea de agua en m/m.
- **A** = área de la sección del flujo de agua m².
- **Q (h)** = caudal del agua en m³/s.

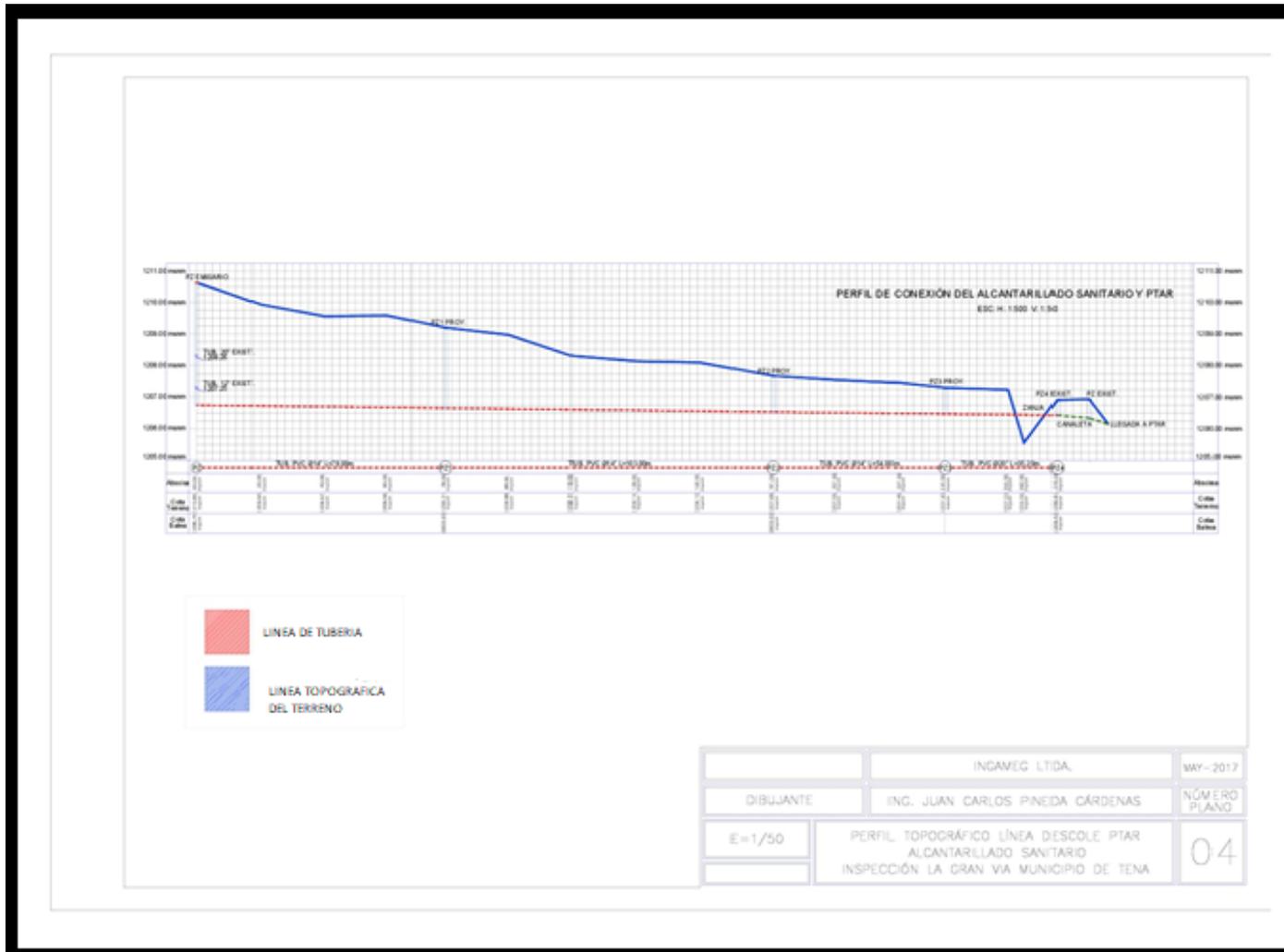


Tabla 29. Plano Perfil Interconexión Alcantarillado-PTAR
Fuente: INGAMEG, 2017.

A continuación, se adjuntan las diferentes tablas con los respectivos análisis.

Tabla 30. Caudal de diseño

DATOS			
LOCALIZACIÓN	TRAMO		CAUDAL DE DISEÑO
	de	a	
			L/s
1	PZ1	PZ2	23,31
2	PZ2	PZ3	23,31
3	PZ3	PZ4	23,31
4	PZ4	PZ5	23,31

Fuente. Autores del proyecto, 2017

El caudal de diseño en los tramos es el mismo ya que es solo una tubería para emisario final, por lo cual el caudal es constante dentro de las tuberías y los tramos.

Tabla 31. Características Geométricas

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS								
TRAMO		PENDIENTE TERRENO	PENDIENTE TUBERÍA	LONGITUD	DIÁMETRO			
de	a	St	S	L	d	d	Dc	D supuesto
		%	%	m	m	Pulg.	Pulg.	Pulg.
PZ1	PZ2	1,85	0,12	78,00	0,26	10,31	14	14
PZ2	PZ3	1,49	0,12	103,00	0,26	10,31	14	14
PZ3	PZ4	0,70	0,12	54,00	0,26	10,31	14	14
PZ4	PZ5	1,11	0,12	35,20	0,26	10,31	20	20

Fuente. Autores del proyecto, 2017

Para los tres primeros tramos se cuenta con una tubería de 14" y el ultimo tramo de 20" debido al descargue que se debe hacer dentro de la PTAR, de las aguas servidas.

Tabla 32. Características Hidráulicas – Relaciones Hidráulicas

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS								
TRAMO		CAUDAL A TUBO LLENO	VELOCIDAD A TUBO LLENO	RELACIÓN DE CAUDALES	RELACIONES HIDRÁULICAS			
de	a	Qo	Vo	[Qd / Qo]	Y/d	Vr/Vo	D/d	R/Ro
		L/s	m/s					
PZ1	PZ2	52,71	0,55	0,44	0,42	0,82	0,52	1,04
PZ2	PZ3	52,71	0,55	0,44	0,42	0,82	0,52	1,04
PZ3	PZ4	52,71	0,55	0,44	0,42	0,82	0,52	1,04
PZ4	PZ5	136,46	0,70	0,17	0,25	0,62	0,32	0,72

Fuente. Autores del proyecto, 2017

El caudal y velocidad a tubo lleno varían según el diámetro interno de la tubería y del tramo donde se encuentre ubicada la misma.

Tabla 33. Características Hidráulicas

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS								
TRAMO		PROFUNDIDAD LAMINAR	RADIO HIDRÁULICO	TENSIÓN CORTANTE	VELOCIDAD REAL	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA	CABEZA DE VELOCIDAD	NÚMERO DE FROUDE
de	a	Y	R	T	Vr	D	V ² /2g	F
		m	m	N/m ²	m/s	m	m	
PZ1	PZ2	0,15	0,09	1,08	0,45	0,19	0,010	0,33
PZ2	PZ3	0,15	0,09	1,08	0,45	0,19	0,010	0,33
PZ3	PZ4	0,15	0,09	1,08	0,45	0,19	0,010	0,33
PZ4	PZ5	0,13	0,09	1,07	0,44	0,16	0,010	0,35

Fuente. Autores del proyecto, 2017

La profundidad laminar varía según el Diámetro seleccionado para cada tubería, y su radio hidráulico es constante debido a la relación R/Ro que se tomó para analizar este parámetro.

Tabla 34. Características Hidráulicas - Relación de pérdidas

CARACTERÍSTICAS HIDRÀULICAS						
TRAMO		Dp	RELACIÒN	PÈRDIDAS		
de	a	m	rc / d	He	Hc	H total
				m	m	m
PZ1	PZ2	1,2	1,69	0,00205	0,002051	0,0041
PZ2	PZ3	1,2	1,69	0,0000	0,002051	0,0021
PZ3	PZ4	1,2	1,69	0,0000	0,002051	0,0021
PZ4	PZ5	1,2	1,18	-0,000061	0,003859	0,0038

Fuente. Autores del proyecto, 2017

Tabla 35. Características Hidráulicas

CARACTERÍSTICAS HIDRÀULICAS						
TRAMO		DELTA EN CABEZA DE VELOCIDAD	ENERGÌA ESPECÌFICA	ENERGÌA ESPECÌFICA	CAÌDA EN EL TRAMO	CAIDA EN LA BATEA
de	A	($0.20 \cdot DV^2/2g$)	H1	H2		
		m	m	m	m	m
PZ1	PZ2	0,000	0,16	0,16	0,09	0,02
PZ2	PZ3	0,000	0,16	0,16	0,12	0,02
PZ3	PZ4	0,000	0,16	0,14	0,06	0,02
PZ4	PZ5	-0,002	0,14	0,00	0,04	0,02

Fuente. Autores del proyecto, 2017

La caída de batea es de 0.02m debido a que las pérdidas en todos los tramos tienen un valor bastante bajo, y Fonade recomienda este valor para este parámetro.

Tabla 36. Perfil Tramo 1

PERFIL DEL TRAMO							
TRAMO		COTA RASANTE		COTA CLAVE		COTA BATEA	
		SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
<i>de</i>	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
PZ1	PZ2	1210,65	1209,21	1208,30	1208,20	1207,94	1207,85
PZ2	PZ3	1209,21	1207,68	1208,18	1208,05	1207,82	1207,70
PZ3	PZ4	1207,68	1207,30	1208,03	1207,97	1207,68	1207,61
PZ4	PZ5	1207,30	1206,91	1208,10	1208,06	1207,59	1207,55

Fuente. Autores del proyecto, 2017

Luego de determinar la caída de batea se hace una disminución entre las cotas de batea superior e inferior, según la determinación del valor de la caída anterior.

Tabla 37. Perfil Tramo 2

PERFIL DEL TRAMO							
TRAMO		RECUBRIMIENTO		PROFUNDIDAD		ANCHO EXC	
		SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	ANCHO EXC	VOLUMEN L
<i>de</i>	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>EXCAV</i>	<i>EXCAV</i>
PZ1	PZ2	2,35	1,01	2,91	1,56	1,00	174,47
PZ2	PZ3	1,03	-0,37	1,59	0,18	1,00	91,10
PZ3	PZ4	-0,35	-0,67	0,20	-0,11	1,00	2,47
PZ4	PZ5	-0,80	-1,15	-0,09	-0,44	1,00	-9,33

Fuente. Autores del proyecto, 2017

En el recubrimiento se ven medidas negativas, ya que en estos tramos existe una zanja debido a un humedal que queda cerca a la entrada de la PTAR y se necesitó construir un soporte para la tubería que conecta a la planta.

Los cálculos se encuentran en el archivo de Excel, como anexo (Anexo 6. Análisis Hidráulico de tuberías), para verificación de datos.

7.1.6. Verificación de las tuberías de la conexión del alcantarillado y la PTAR

Según el documento “Informe final Tena, versión 2. CAR – Latin Consults”, en el diseño de la conexión del alcantarillado de Tena, se debe implementar un sistema sencillo de bombeo para hacer llegar las aguas hasta la planta de tratamiento, y la tubería principal sería de 24” para generar un alivio a las aguas servidas.

En las visitas hechas y según los planos se evidenció que todas las tuberías de la conexión tenían un diámetro de 14” y 20” además no se tenía solo una tubería, sino se tenían varias tuberías conectadas en los pozos de control. Adicionalmente no se implementó ningún sistema de bombeo desde la recolección de todas las aguas del municipio hasta la PTAR, debido a que las aguas llegan por efecto de gravedad con un caudal regular a la planta de tratamiento; esto se debe a la topografía del lugar y el nivel que se manejó para ubicar los pozos y las tuberías.

Conforme lo establecido en el RAS 2000, título D, para sistemas con niveles de complejidad bajo, y poblaciones con más de 10 viviendas, el diámetro mínimo de tubería es de 170 mm, como se verificó en campo los diámetros de las tuberías que hacen la interconexión a la PTAR son mayores a 170 mm.

Tabla 38. Diámetros de las tuberías

TRAMO	DIÁMETRO INTERNO (mm)
1	355.6
2	355.6
3	355.6
4	508.0

Fuente. Autores del proyecto, 2017.

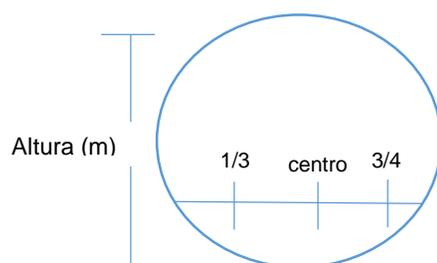
Velocidades permisibles en tuberías.

De acuerdo con la visita de campo realizada en julio de 2016 se obtuvieron los siguientes resultados para la llegada de las aguas residuales a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 39. Velocidades de las tuberías

Punto tubería	Velocidad (m/s)	Altura (m)
1/3	0,48	0,06
Centro	0,51	0,08
3/4	0,47	0,06

Fuente: Autores del proyecto, 2017.



Como lo menciona el RAS 2000, Título D, la velocidad mínima para diámetros inferiores a 450 mm es de 0,45 m/s y la velocidad máxima se recomienda que sea de 5 m/s. De esta forma se comparan los valores registrados en la tabla de Velocidades de las tuberías, los cuales se encuentran dentro del rango estipulado.

7.1.7. Estudio de Proyecciones Poblacionales

Se utiliza el método de proyecciones poblacionales que establece el RAS 2000, Título B, ya que no existe información de demanda de agua, ni de suscriptores del servicio. Tomando la información del censo poblacional del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

En el EOT no se especifica la población de saturación del municipio, por esta razón se estimada para el proyecto el 100% de la población de la cabecera municipal y el 6% de la población rural, ya que la planta se proyectó para esta cantidad de suscriptores, debido a las aguas que recibía del alcantarillado está dada en estos porcentajes. Según el censo del DANE del año 2005, el 100% de la población de la cabecera municipal de Tena es de 703 habitantes y el 6% de la población rural es de 406 habitantes, lo que da un total de 1109 habitantes como población total del proyecto, a partir de la cual se estima la proyección hasta el año 2036.

Tabla 40. Censo Poblacional Municipio Tena

AÑO	POBLACIÓN URBANA	POBLACIÓN RURAL	6% POBLACIÓN RURAL	POBLACIÓN DEL PROYECTO
1938	296	3927	236	531
1951	308	4005	240	548
1964	344	4575	274	619
1973	363	4824	289	653
1985	428	5684	341	769
1993	465	6175	371	835
2005	703	6766	406	1109

Fuente: Autores del proyecto, 2017

La proyección se hizo mediante los métodos de crecimiento aritmético, geométrico, y exponencial, descritos en el marco teórico. Como lo indica el RAS 2000, para poblaciones con nivel de complejidad bajo. No se evalúa el método gráfico, porque se cuenta con información confiable y necesaria de datos de censo poblacional.

- Crecimiento Aritmético.

Este crecimiento se tiene en cuenta de acuerdo a la diferencia de nacimientos y defunciones determinadas según el censo poblacional, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} x (Tf - Tuc)$$

Fuente, RAS 2000, Título B

Donde,

- Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
- Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
- Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.
- Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

$$P_{2016} = 1109 + \frac{1109 - 835}{2005 - 1993} x (2016 - 2005) = 1360 \text{ habitantes}$$

$$P_{2026} = 1109 + \frac{1109 - 835}{2005 - 1993} \times (2026 - 2005) = 1588 \text{ habitantes}$$

$$P_{2036} = 1109 + \frac{1109 - 835}{2005 - 1993} \times (2036 - 2005) = 1816 \text{ habitantes}$$

- Crecimiento Geométrico

Este método tiene en cuenta el crecimiento comercial e industrial, considerando el crecimiento de las actividades económicas, considerando la expansión del sitio. Se determina con la siguiente ecuación.

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde,

- r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.
- P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).
- P_{uc} = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
- P_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
- T_{uc} = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
- T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

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

Entonces,

$$r = \left(\frac{1109}{769} \right)^{\frac{1}{2005 - 1985}} - 1 = 0.018$$

$$P_{2016} = 1109 \times (1 + 0.018)^{2016 - 2005} = 1356$$

$$P_{2026} = 1109 \times (1 + 0.018)^{2026 - 2005} = 1629$$

$$P_{2036} = 1109 \times (1 + 0.018)^{2036 - 2005} = 1956$$

- Crecimiento Exponencial.

Para determinar este crecimiento, como mínimo es necesario conocer tres censos, siendo el del último año determinado por el DANE, este tipo de crecimiento permite tener en cuenta la expansión del municipio en cuanto a actividades económicas. Se determina con la siguiente ecuación.

$$Pf = Pci \times e^{Kx(Tf-Tci)}$$

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

$$k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca}$$

Donde,

- P cp = Población del censo posterior (proyección del DANE).
- Pca = Población del censo anterior (habitantes).
- Tcp = Año correspondiente al censo posterior.
- Tca = Año correspondiente al censo anterior.
- Ln = Logaritmo natural o neperiano.

Entonces,

$$k = \frac{\ln 1109 - \ln 835}{\ln 2005 - \ln 1993} = 0.024$$

$$P2016 = 835 \times e^{0.024 \times (2016 - 1993)} = 1438$$

$$P2026 = 835 \times e^{0.024 \times (2026 - 1993)} = 1821$$

$$P2036 = 835 \times e^{0.024 \times (2036 - 1993)} = 2306$$

A continuación se presentan los resultados en conjunto en la siguiente tabla.

Tabla 41. Análisis Poblacional. Crecimiento: Aritmético, Geométrico y Exponencial

CRECIMIENTO ARITMÉTICO	P2016 =	1360
	P2026 =	1588
	P2036 =	1816
CRECIMIENTO GEOMÉTRICO	r =	0,018
	P2016 =	1356
	P2026 =	1629
	P2036 =	1956
CRECIMIENTO EXPONENCIAL	K=	0,024
	P2016	1438
	P2026	1821
	P2036	2306

Fuente: Autores del proyecto, 2017

Para obtener los resultados finales de la población de diseño, se realizó un promedio de los resultados descritos anteriormente, con los tres métodos empleados. La población futura proyectada para el año 2036 será de 1966 habitantes, por lo tanto, se asumió un nivel de complejidad Bajo, el cual se determinó a partir de la teoría descrita en el Título A del RAS 2000.

Tabla 42. Determinación nivel de complejidad

NIVEL DE COMPLEJIDAD	POBLACIÓN EN EL CASCO URBANO (HABITANTES)	CAPACIDAD ECONÓMICA DE LOS USUARIOS
Bajo	Menor de 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	Mayor a 60000	Alta

Fuente. RAS, 2000

Tabla 43. Población de diseño

AÑO	POBLACION DE DISEÑO			
	LINEAL	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL	PROMEDIO
2016	1360	1356	1438	1385
2026	1588	1629	1821	1679
2036	1816	1956	2306	2026

Fuente: Autores del proyecto, 2017.

A partir de los resultados obtenidos en la proyección poblacional, se determinó el consumo neto de agua residual para calcular el caudal de agua residual, de acuerdo a lo descrito en el Título D del RAS 2000, considerando que el municipio de Tena se encuentra a 1384 msnm. Además se tuvo en cuenta el porcentaje máximo de pérdidas del 25%.

Tabla 44. Dotación neta máxima

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/Hab*día)
> 2000 msnm	120
1000 – 2000 msnm	130
< 1000 msnm	140

Fuente. RAS 2000

Tabla 45. Consumo Neto

AÑO	POBLACION	INCREMENTO POBLACION (%)	INCREMENTO DE DOTACION	CONSUMO NETO	%perdidas	CONSUMO BRUTO
2016	1385	21,27	2,13	120,000	25,00	160
2026	1679	20,65	2,07	122,552	25,00	163
2036	2026			122,531	25,00	163

Fuente: Autores del proyecto, 2017.

De acuerdo al consumo bruto se procedió a calcular las contribuciones de aguas residuales para determinar el caudal de diseño.

- **Caudal de Aguas Residuales Domésticas.**

Ya que no existen proyecciones de demanda de agua o proyecciones de suscriptores, el cálculo de caudal de diseño de aguas residuales domésticas se hace utilizando la proyección de población. Tomando como valor para el coeficiente de retorno de aguas domesticas para niveles de complejidad Bajo y Medio 0.8.

Tabla 46. Coeficiente de retorno de ARD

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y Medio	0.80
Medio alto y Alto	0.85

Fuente. RAS 2000

Se determina el caudal de aguas residuales ya que el proyecto de la PTAR de Tena considera como prioridad el tratamiento de estas aguas como las aguas residuales comerciales. Es así como se determina un caudal de aguas domesticas de 3.06 L/s como se presenta a continuación, teniendo en cuenta que estas viviendas domésticas en su mayoría se consideran comercios no formales se tiene en cuenta que en su mayoría el caudal que llega es de este tipo.

$$Qd = \frac{Cr * P * D}{86400}$$

$$Qd = \frac{0,8 * 2026hab * 163 \frac{L}{hab}}{86400s}$$

$$Qd = 3,06 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de Aguas Residuales Industriales**

Debido que en el municipio, ni en el corredor de la Gran Vía existen grandes industrias los aportes para el caudal industrial, se determina de acuerdo al nivel de complejidad bajo, considerando el valor mínimo para industrias pequeñas como se establece en el RAS 2000, titulo D de 0.4L/s.

$$Qi = 0,40 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de Aguas Residuales Comerciales**

De acuerdo a las especificaciones del EOT, de municipio de Tena, dentro del perímetro de la Gran Vía los usos predominantes del suelo son vivienda y comercio, dentro de las cuales el corredor de la Gran Vía al municipio de Tena tiene una extensión de 82 km, dentro de los cuales se considera 5000 m², se consideran de uso para locales comerciales, encontrándose actividades como: venta de productos agrícolas, piqueteaderos, sobre la vía Bogotá- La Mesa, en su paso por las veredas del Rosario, Catalamonte, Laguneta y Santa Bárbara, dentro de otros tipos de comercio informales como los son restaurantes, billares, canchas de tejo, misceláneas.

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando la tabla B.2.4. Consumo mínimo en comercio, descrita en el RAS 2000. Para locales comerciales se estima un consumo de agua de 6L/m²/día, donde:

$$\frac{6 L}{m^2 día} * 5000 m^2 = 30000 \frac{L}{día} * \frac{1 día}{86400 s} = 0.34 L/s$$

$$Q_c = 0,34 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de Aguas Residuales Institucionales**

Debido a que en el área rural se cuenta con 11 colegios y en el área urbana con 3 colegios y solo un puesto de salud en el corredor de la Gran Vía a Tena, se considera un caudal mínimo de 0.4 L/s, como establece el RAS 2000, Título D.

$$Q_{in} = 0,40 \frac{L}{s}$$

- **Caudal por conexiones erradas.**

Se tiene presente el caudal de conexiones erradas ya que las tuberías del municipio son separadas. Debido a la falta de información del alcantarillado del municipio se toma un caudal de 0.1 L/s como se establece en el RAS 2000, Título B.

$$Q_{ce} = 0,10 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de Infiltración**

De acuerdo con la Tabla D 3.3. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales, del Título D RAS 2000, el caudal de infiltración para precipitaciones medias (considerando la precipitación promedio del municipio de 1600 mm) es:

$$Q_{inf} = 0,2 \frac{L}{s}$$

- **Caudal medio diario de aguas residuales**

Las aguas residuales que llega a la planta de tratamiento del Municipio de Tena, son de tipo doméstico, comercial, industrial e institucional, de acuerdo a las características descritas anteriormente, con esto el caudal medio diario de aguas residuales es la sumatoria de estos caudales determinados anteriormente.

$$Q_{md} = Q_d + Q_i + Q_c + Q_{in}$$

$$Q_{md} = 3.06 \frac{L}{s} + 0,40 \frac{L}{s} + 0,34 \frac{L}{s} + 0,40 \frac{L}{s}$$

$$Q_{md} = 4.20 \frac{L}{s}$$

- **Caudal máximo horario final**

Para calcular el caudal máximo horario final, se debe tener en cuenta el *Factor de mayoración*, para determinar el caudal de mayoracion se tiene en cuenta la fórmula de *Los Ángeles* ya que se determinó anteriormente el valor de Q_{md} , esta fórmula es válida para caudales medios diarios no mayores a 28300 L/s, la fórmula de Flores no es posible usarla debido a la falta de datos de campo de población servida.

$$F = \frac{3,53}{Q_{md}^{0,0914}}$$

$$F = \frac{3,53}{4.20^{0,0914}}$$

$$F = 3.10$$

De acuerdo a lo que establece el RAS, el factor de mayoracion debe encontrarse entre el rango de 1.4 a 3.8.

Teniendo en cuenta que el factor de mayoracion se calculó por medio del caudal medio diario con la ecuación de Los Ángeles, se utiliza la siguiente ecuación para determinar el caudal máximo horario final:

$$Q_{mhf} = F * Q_{mdf}$$

$$Q_{mhf} = 3.10 * 4.20 \frac{L}{s}$$

$$Q_{mhf} = 13.02 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de diseño**

El caudal de diseño es la suma del caudal máximo horario, el caudal de infiltración y el caudal de conexiones erradas determinadas anteriormente.

$$Q_{dt} = Q_{mhf} + Q_{inf} + Q_{ce}$$

$$Q_{dt} = 13.02 \frac{L}{s} + 0.20 \frac{L}{s} + 0.10 \frac{L}{s}$$

$$Q_{dt} = 13.32 \frac{L}{s}$$

Consideramos un caudal de diseño de 13.32 L/s para realizar el rediseño de la planta y verificar que esta cumpla con su capacidad.

7.2. SEGUNDA FASE

7.2.1. Caracterización de las aguas

La segunda visita se realizó el día 29 de septiembre del 2016, donde se identificó que las tuberías de la conexión del alcantarillado y la PTAR estaban funcionando correctamente, lo que hacía que el agua llegara a la planta y esta pudiera comenzar a funcionar. Luego de llegar el agua correctamente a la planta, los sedimentadores estaban llenos y en ellos se habían colocado las bacterias para comenzar el proceso de reducción de materia orgánica en las aguas; estas bacterias habían sido colocadas una semana antes de realizar la visita.

La tercera visita se realizó el día 5 de diciembre del 2016, donde se esperaba que la planta estuviera funcionando con las bacterias puestas ya hace dos meses aproximadamente; pero se encontró la planta en abandono y sin funcionamiento.

7.2.1.1. *Impactos Ambientales, Sociales y Económicos.*

Dentro del municipio de Tena se encuentra construida una PTAR, para la reducción de la contaminación del agua residual en la quebrada Los Micos, donde se presentan impactos ambientales, económicos y sociales.

Los impactos ambientales que se presentan sobre la quebrada Los Micos son: La contaminación en cuerpos de agua superficiales por causa de las aguas residuales que se generan el municipio y no tienen un tratamiento adecuado; Presencia de roedores y vectores en zonas aledañas a la quebrada; Afectación de las características del suelo por causa de microorganismos contaminantes en el agua que fluye por la quebrada sin tratamiento; Generación de malos olores debido a que estas aguas tienen heces fecales y otra cantidad de contaminantes orgánicos que generan olores irritantes.

Socialmente puede generar enfermedades por causa de los microorganismos y la presencia de roedores y vectores mencionada anteriormente que se presenten en las viviendas aledañas a la quebrada, en este caso principalmente en un ancianato que se encuentra cerca al vertimiento de estas aguas. Además de irritación por los fuertes olores que se tienen a causa de estas aguas.

Con respecto al aspecto económico, la construcción de la PTAR le costó al municipio aproximadamente ochocientos millones de pesos (\$800'000.000), por lo cual el no uso de ésta le genera pérdidas a Tena. Además, si se evidencia el desplazamiento de población del municipio, el ingreso de dinero para éste se verá afectado, incluso podría provocar la necesidad de otra fuente de abastecimiento hídrico por culpa de la contaminación generada en la quebrada.

7.2.1.2. Resultados y análisis de caracterización de aguas

Se tomaron tres puntos de muestreo para hacer la caracterización de las aguas e identificar el funcionamiento de la planta en las dos visitas en dos horas diferentes. El primer punto se tomó en la entrada de la PTAR, el segundo en los filtros dentro de la planta y el último punto en el vertimiento a la quebrada Los Micos; como se evidencia en el Anexo 9. Anexos Fotográficos.

Las variables medidas “In-Situ” que se tomaron durante la jornada de muestro en cada punto fueron:

Figura 1. Toma de muestras in situ



Fuente, Autores del proyecto, 2016

- pH
- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- Caudal
- Sólidos sedimentables

A continuación, se presentan los resultados “in situ” y de laboratorio de las aguas que llegan a la PTAR en cada uno de los puntos de muestreo. Durante cada jornada se tomaron muestras y duplicado de cada alícuota, obteniendo los mismos valores en los datos “in situ” en el duplicado.

Tabla 47. Resultado Datos “In Situ” – Entrada

FECHA	pH	Temperatura	Volumen	Tiempo	Caudal	Alícuota	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
	Unidad	°C	L	s	L/s	L	mL/L	mg/L
29/09/2016 9h 25 min	7.39	28.5	5.5	0.80	6.875	1.688	0.353	7.55
29/09/2016 10h 25 min	7.19	28.5	4.5	1.68	2.679	1.268	0.362	7.52
05/12/2016 13h 46min	8.01	21.2	4.2	0.82	5.122	1.512	0.108	7.56
05/12/2016 14h 46 min	7.89	21.0	5.0	0.94	5.319	1.532	0.120	7.42
PROMEDIO	7.62	24.8	4.8	1.06	4.953	1.500	0.235	7.51

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017.

Tabla 48. Resultados Datos “In Situ” – Salida

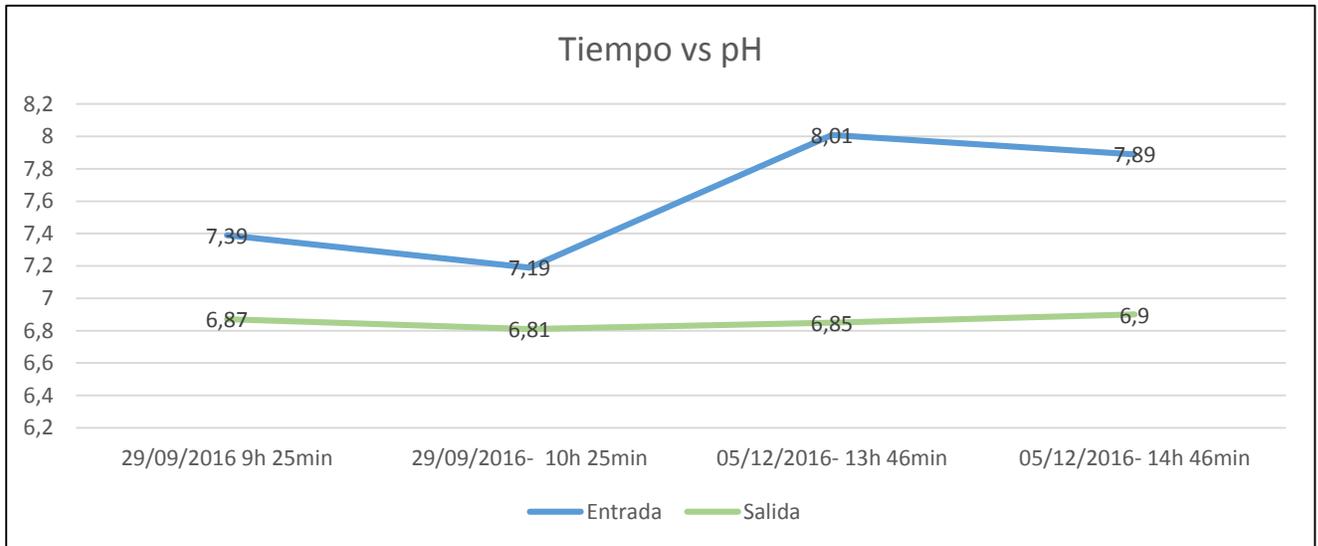
FECHA	pH	Temperatura	Volumen	Tiempo	Caudal	Alícuota	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
	Unidad	°C	L	s	L/s	L	mL/L	mg/L
29/09/2016 9h 25 min	6.87	28.1	5.5	0.80	6.875	1.688	0.342	7.36
29/09/2016 10h 25 min	6.81	28.3	4.5	1.68	2.679	1.268	0.350	7.34
05/12/2016 13h 46 min	6.85	20.8	4.2	0.82	5.122	1.512	0.130	7.40
05/12/2016 14h 46 min	6.90	21.0	5.0	0.94	5.139	1.532	0.145	7.33
PROMEDIO	6.85	24.6	4.8	1.06	4.953	1.500	0.241	7.35

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017.

7.2.1.3. Gráficas Parámetros Físicos

Luego de tabular los resultados “in situ”, en cada uno de los parámetros y puntos escogidos para la toma de muestras, se realizaron análisis gráficos de la variación de datos por hora y fecha de cada una de las variables.

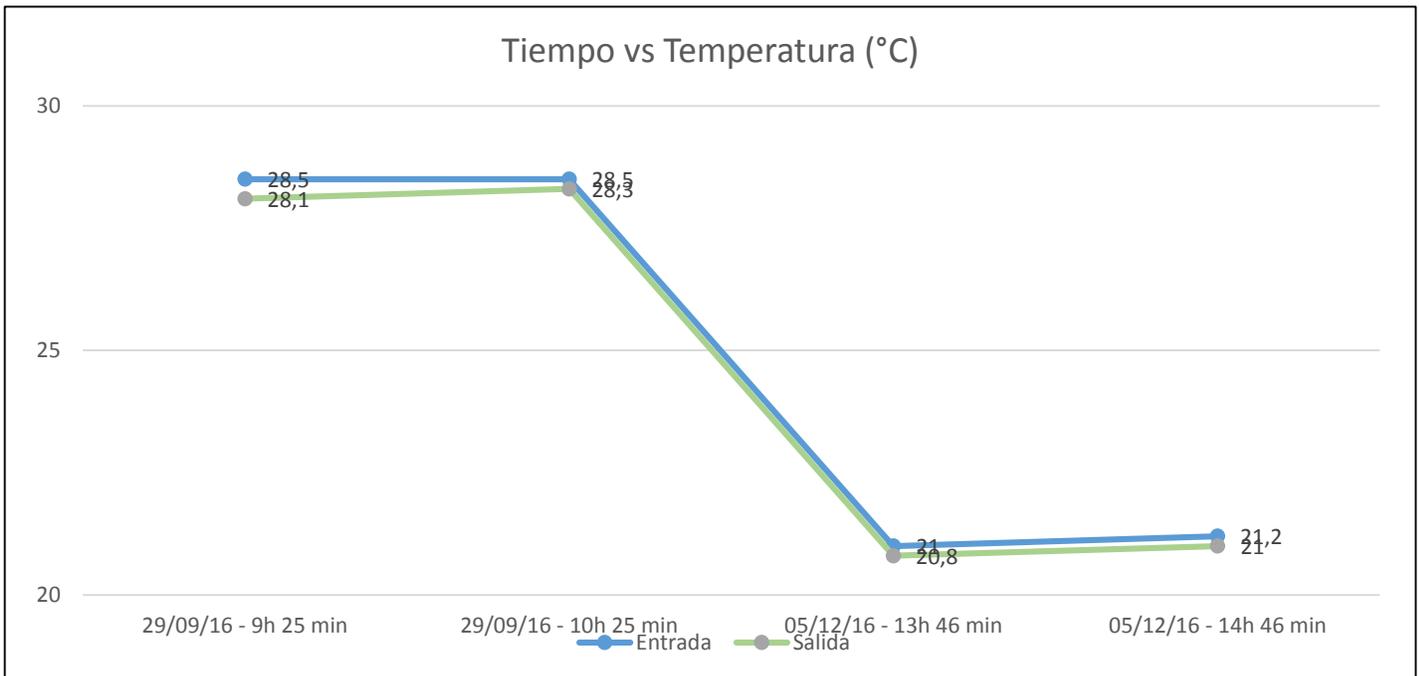
Gráfica 1. Tiempo vs pH



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

El pH en la entrada de la PTAR, tiene un valor más alto que la salida de la misma. El pH en las mediciones se mantiene entre un rango neutro, sin embargo tiene una tendencia a convertirse en ácido. Esto se debe a la deficiencia de la trampa de grasas.. Esto se debe a la deficiencia de la trampa de grasas ya que los aceites y grasas están compuestos de ácidos que se adhieren a pequeñas partículas del agua en una mínima proporción generando el aumento del pH.

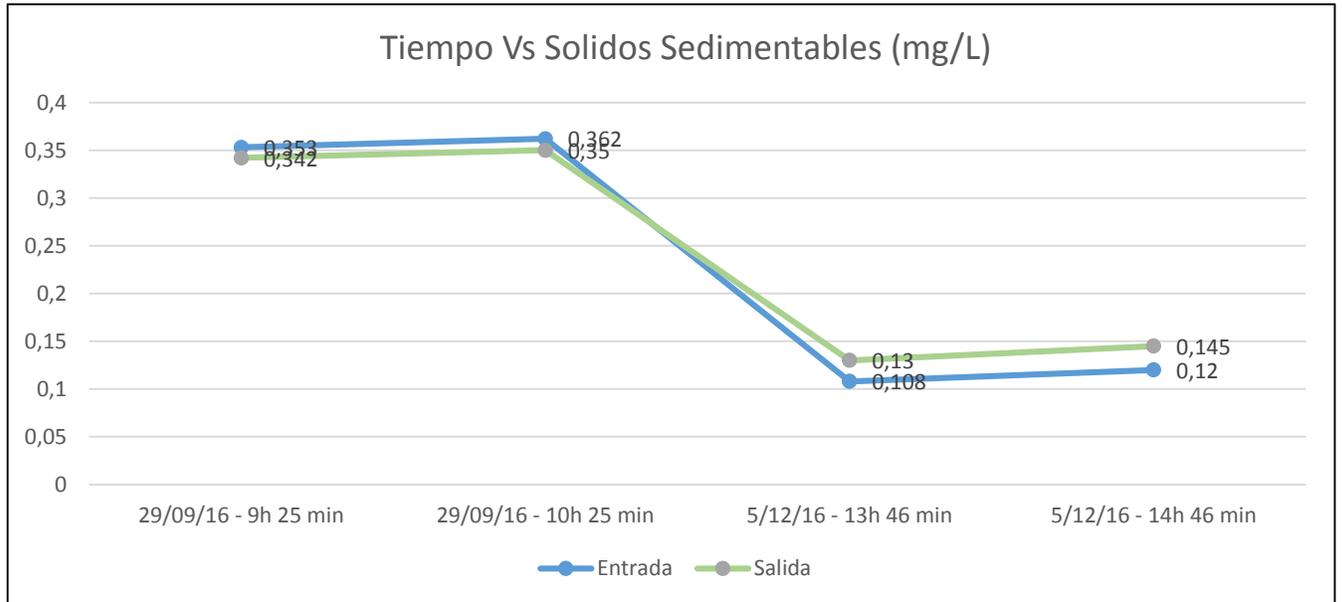
Gráfica 2. Tiempo vs Temperatura



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

La temperatura en el mes de septiembre se encontró en promedio de 28 a 29°C, en las dos horas en las que las muestras fueron tomadas, mientras que en el mes de diciembre se tiene una temperatura promedio de 21 a 22 °C en las horas de la tarde donde las medidas se tomaron en época de lluvia, lo que puede generar el cambio de temperatura de un mes a otro. Se debe tener en cuenta la temperatura debido a que este parámetro puede afectar la vida de los microorganismos. Otro de los factores por lo cual hay una variación se debe a que las muestras se tomaron en diferente hora en las dos visitas.

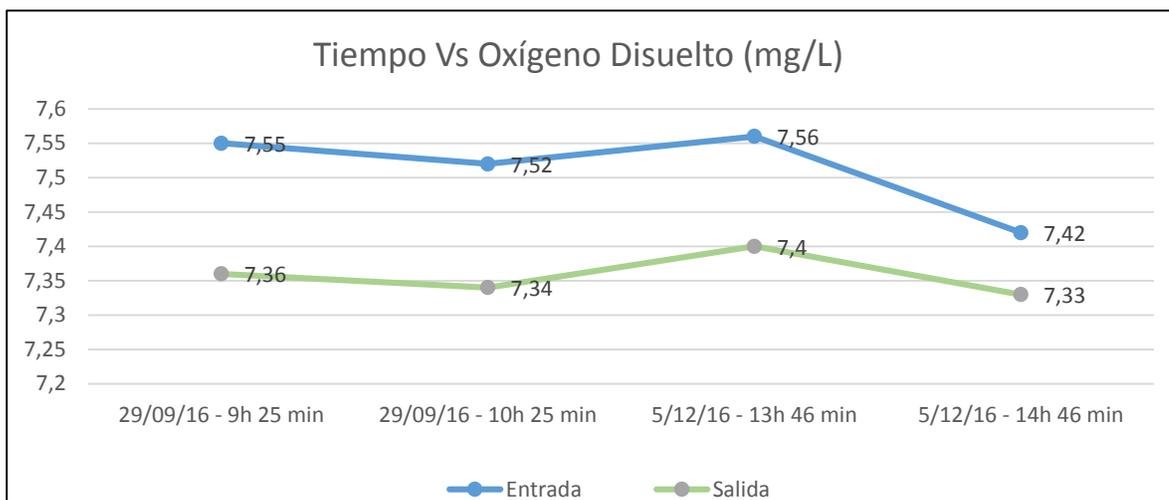
Gráfica 3. Tiempo vs Sólidos Sedimentables



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

De acuerdo a la gráfica se observa que, en los tres puntos de muestreo, los dos días y en diferentes horas los sólidos sedimentables se presentan en mayor medida en la entrada a la PTAR, y va disminuyendo entre la entrada y la salida de la misma. Esto se debe a que los sedimentadores están funcionando y al llevarse a cabo este proceso la sedimentación es efectiva generando una disminución de las partículas en el agua.

Gráfica 4. Tiempo vs Oxígeno Disuelto



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

El oxígeno disuelto medido de forma “in situ” con el multiparametro, según la gráfica tiene una tendencia a disminuir de forma progresiva según el punto donde se toma la muestra, en la entrada presenta valores más altos que la salida de la PTAR, debido a la falta de mantenimiento y estado actual de la planta las bacterias no logran realizar la remoción de materia orgánica disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto y convirtiéndose ellas mismas en materia orgánica, además es posible que de acuerdo a la variación del tiempo y día en el que se tomaron las muestras estas tienen una diferencia en la cantidad de carga orgánica que entra a la PTAR.

7.2.1.4. Análisis Laboratorio

Las variables químicas analizadas para los puntos estipulados fueron:

- DBO₅
- Grasas y Aceites
- Sólidos suspendidos totales
- DQO

Tabla 49. Resultados laboratorio de la segunda visita (29 de septiembre de 2016)

Variable	Entrada	Salida
DQO (mg/L O ₂)	1508.0	804.0
DBO ₅ (mg/L O ₂)	668.8	326.4
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	413.6	58.4
Grasas y aceites (mg/L)	366.5	100.0

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017. Elaborado por autores del proyecto.

Tabla 50. Resultado laboratorio tercera visita (05 de diciembre de 2016)

Variable	Entrada	Salida
DQO (mg/L O ₂)	958.76	747.24
DBO ₅ (mg/L O ₂)	498.84	249.99
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	368.29	43.19
Grasas y aceites (mg/L)	285.63	75.24

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017. Elaborado por autores del proyecto.

Tabla 51. Consolidado visitas

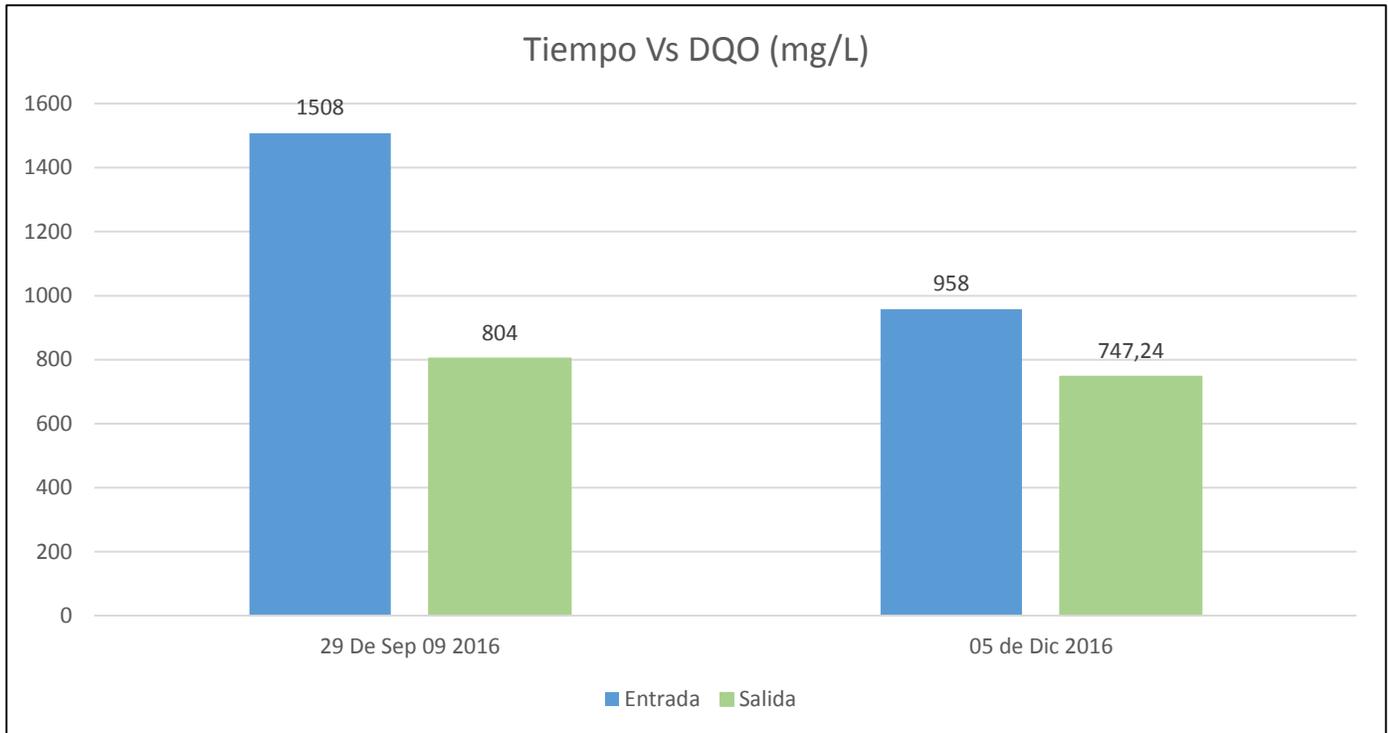
Variable	Entrada	Salida
DQO (mg/L O ₂)	1233.38	775.62
DBO ₅ (mg/L O ₂)	583.50	288.19
Sólidos Suspendidos Totales (mL/L)	390.94	50.81
Grasas y aceites (mg/L)	326.06	87.62

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017. Elaborado por autores del proyecto.

7.2.1.5. Gráficas Laboratorios. Parámetros Químicos

Luego de tabular los datos obtenidos en el laboratorio para las muestras del 29 de septiembre y el 5 de diciembre del año 2016, se realizaron las siguientes gráficas, evaluando cada uno de los parámetros físicos.

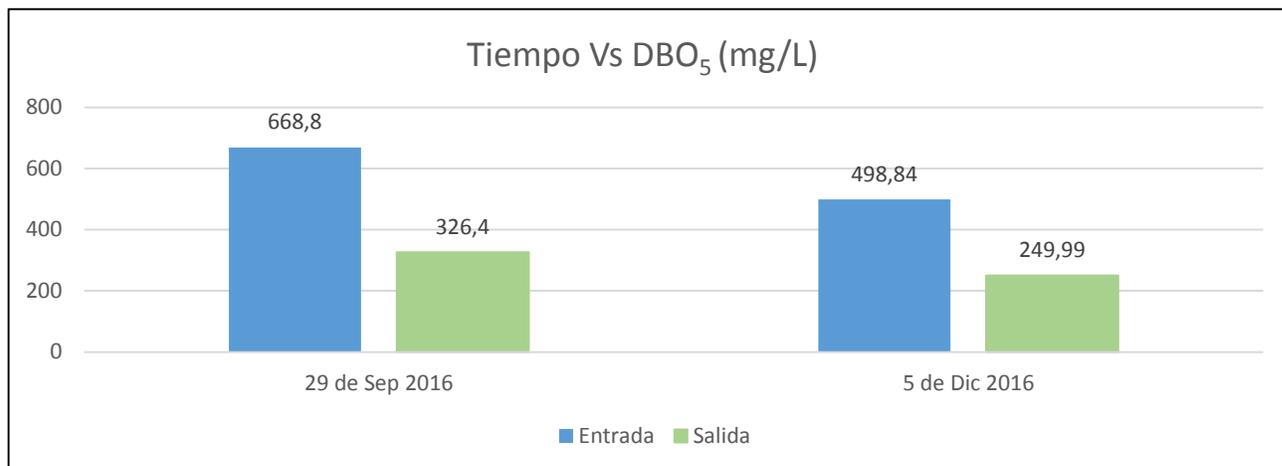
Gráfica 5. Tiempo vs DQO



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

La DQO en la entrada en las dos fechas es mayor en comparación con el DQO en la salida, demostrando una eficiencia en el proceso, para generar la disminución del mismo. Debido al proceso aerobio dentro de la planta y las bacterias utilizadas para dicho proceso.

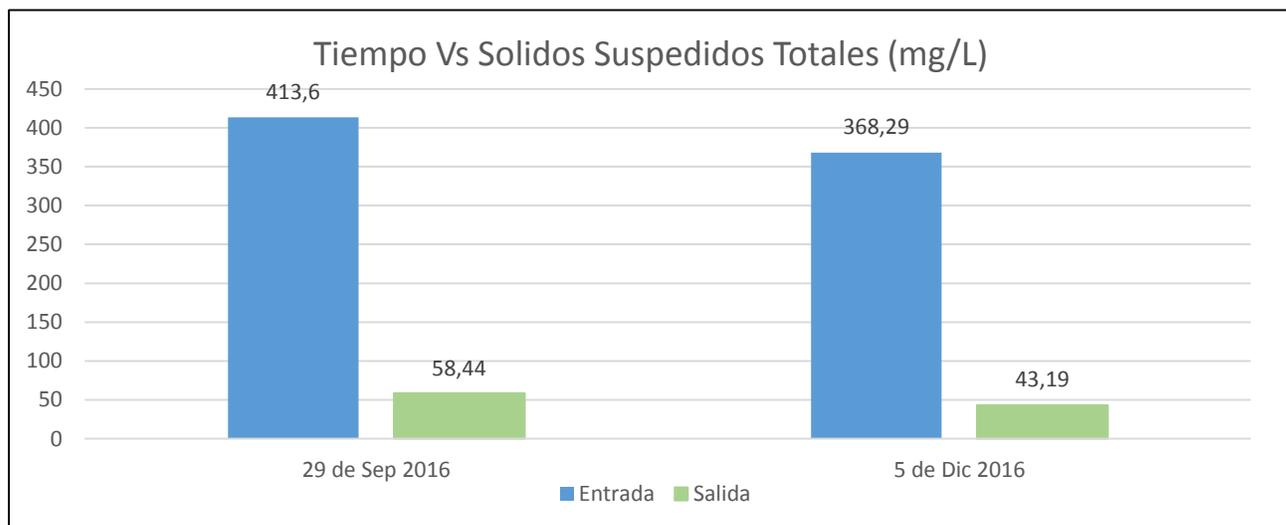
Gráfica 6. Tiempo vs DBO₅



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

El DBO₅ en la entrada es mayor en comparación con el que se encuentra la salida de la planta, la diferencia del DBO₅ entre estos dos puntos es notoria, debido a una remoción casi del 50%. Esto puede suceder debido al tratamiento biológico, ya que sólo después de la segunda visita se dispusieron las bacterias para la remoción.

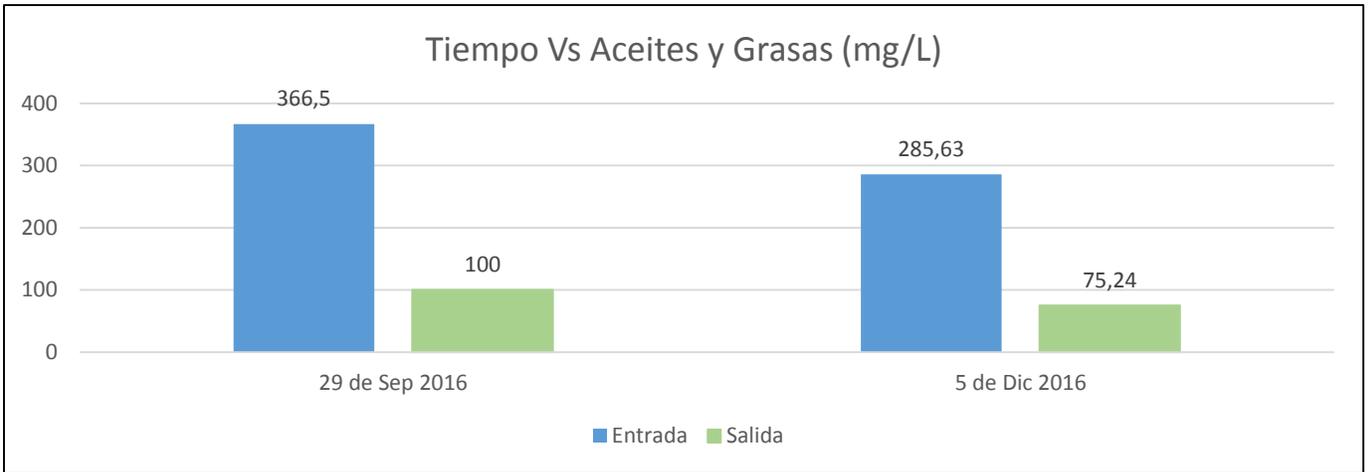
Gráfica 7. Tiempo vs Solidos Suspendidos Totales



Fuente: Autores del proyecto, 2017

Los sólidos suspendidos totales que entran en la planta van disminuyendo a medida que el agua circula por la PTAR, ya que entra con unos SST bastantes altos y se hace una remoción de estos en su mayoría cuando la medida se hace en la salida.

Gráfica 8. Tiempo vs Aceites y Grasas



Fuente: Autores del proyecto, 2017.

Los aceites y grasas se presentan en mayor proporción en la entrada de la PTAR, sin embargo, se hace una disminución notoria de estos a la salida de la planta. Aunque la plata de grasas no funciona como debiera por falta de mantenimiento, el resto del proceso de la planta es efectivo y hace una remoción de estos cuando el caudal pasa por allí.

A continuación se presentan los datos in-situ y laboratorio químico de la quebrada Los Micos.

Tabla 52. Datos "In Situ" quebrada Los Micos

VARIABLE	VALOR
pH	6.86
Temperatura (°C)	23.4
Caudal (L/s)	16.8
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1.367
Oxígeno Disuelto	8.6

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017. Elaborado por autores del proyecto.

Los resultados presentados cumplen con la normatividad, se debe tener en cuenta que los datos se tomaron luego de la operatividad de la PTAR y que es en un punto luego del vertimiento, ya que la quebrada tiene un transcurso donde no está contaminada y el agua aun no recibe ninguna carga que altere su composición.

Tabla 53. Resultados Parámetros Químicos Quebrada Los Micos

VARIABLE	VALOR
DQO (mg/L O ₂)	809.68
DBO ₅ (mg/L O ₂)	234.08
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	37.65
Grasas y Aceites (mg/L)	70.4

Fuente: QUINCONTROL Ltda, 2017. Elaborado por autores del proyecto.

Estos datos como se ha mostrado anteriormente los parámetros de DQO y GyA, no cumplen con la normatividad, por ende aunque la quebrada tiene un porcentaje de agua limpia ésta se contamina al encontrarse con los vertimientos de la PTAR, generando posibles sanciones al municipio por incumplir con la norma.

7.2.2. Balance de Cargas

Para tener en cuenta los parámetros de optimización de la PTAR, se realizó el balance de cargas de acuerdo a los datos obtenidos en las unidades de entrada y salida del sistema de tratamiento con un caudal de diseño proyectado para el año 2036, de manera que permita un seguimiento del funcionamiento y diseño de la planta así como el cumplimiento de los parámetros permisibles de acuerdo a la normatividad, como se evidencia en la siguiente figura.

CÁLCULO DE CARGAS

Se toma como base el caudal de diseño proyectado para el año 2036, obteniendo los siguientes valores de carga orgánica para ese año así:

- **Carga orgánica DQO (2036) = CO DQO**

$$DQO = 1233,38 \text{ mg/L O}_2$$

$$CO \text{ DQO} = \frac{\left(1233.38 \frac{\text{mg}}{\text{L}} DQO * 13.32 \frac{\text{L}}{\text{s}}\right)}{1000} = 892.62 \text{ kg/día}$$

- **Carga orgánica DBO₅ (2036) = CO DBO₅**

$$DBO = 583,5 \text{ mg/L O}_2$$

$$CO_{DBO5} = \frac{\left(583.5 \frac{mg}{L} DQO * 13.32 \frac{L}{s}\right)}{1000} = 331.66 \text{ kg/día}$$

- **Carga orgánica SST (2036) = CO SST**

SST = 390,94 mg/L

$$CO_{SST} = \frac{\left(390.94 \frac{mg}{L} DQO * 13.32 \frac{L}{s}\right)}{1000} = 58.47 \text{ Kg/día}$$

- **Carga orgánica GyA (2036) = CO GyA**

GyA = 326,06 mg/L

$$CO_{GyA} = \frac{\left(326.06 \frac{mg}{L} DQO * 13.32 \frac{L}{s}\right)}{1000} = 100.84 \text{ kg/día}$$

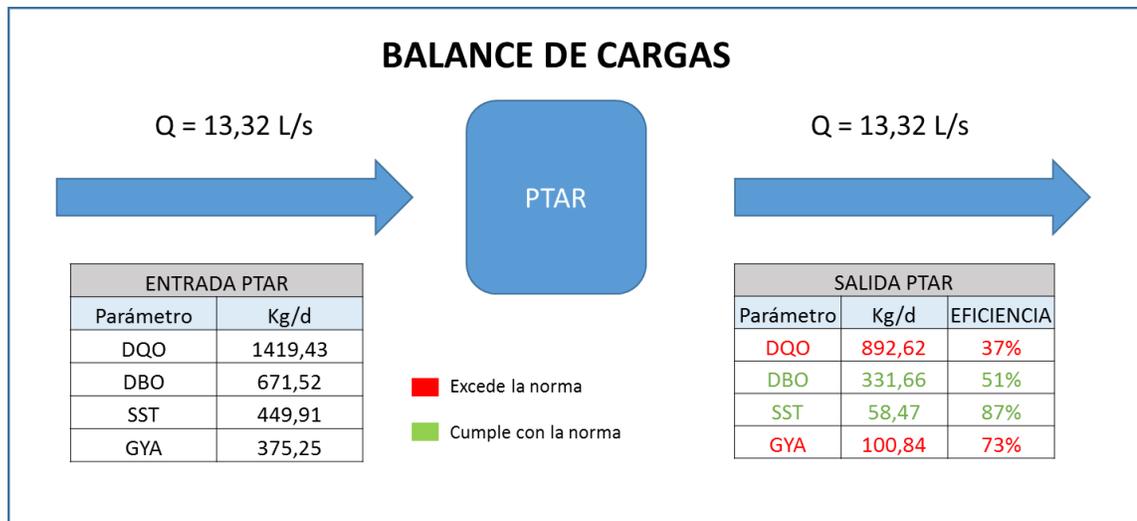


Tabla 54. Balance de Cargas. Autores del proyecto, 2017

7.2.3. Comparación con la norma

Los promedios de la salida de la PTAR obtenidos fueron comparados con la resolución 631 de 2015, donde se dan los valores límites máximos permisibles para el vertimiento de aguas residuales en un cuerpo hídrico; el cual permite identificar los parámetros que se deben evaluar en la optimización de la planta.

Tabla 55. Comparativo Resultados con la Norma

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR PROMEDIO EN LA SALIDA	VALOR EN LA NORMA Res. 631/2015	CUMPLE
pH	pH	6.85	6.0 a 9.0	Si
DQO	mg/L O ₂	775.62	200	No
DBO ₅	mg/L O ₂	288.19	300	Si
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50.81	100	Si
Grasas y Aceites	mg/L	87.62	20	No

Fuente: Autores de proyecto, 2017.

- pH.** El valor obtenido es de 6.85, encontrándose dentro del rango (6 a 9) según la resolución 631 de 2015. Sin embargo, a pesar del abandono de la planta y las malas condiciones en las que se encuentra, este parámetro cumple con lo establecido dentro de la norma, el pH del afluente es más alcalino en comparación con el del efluente.
- DQO.** Los vertimientos de la PTAR no cumplen con el valor de 200 mg/L O₂ establecido en la resolución 631 de 2015, ya que el valor obtenido es de 775.62 mg/L O₂; esto se debe a que los anillo de polipropileno no están adhiriendo la formación de las bacterias que oxidan la materia orgánica dentro de la planta, siendo poco eficiente la operación de los filtros percoladores.
- DBO₅.** La degradación de materia orgánica dentro de la PTAR cumple con el valor establecido por la resolución 631 de 2015; pero se encuentra muy cerca a traspasar el límite máximo permitido con un valor de 288.19 mg/L O₂. Se debe evaluar el sistema mejorando la operación de los filtros percoladores, sedimentadores, además de implementar un sistema de aireación, para prevenir que en un futuro este parámetro sobrepase el límite.
- Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Este parámetro tiene una gran importancia debido a que puede afectar el sistema desde la entrada, si no se tiene un adecuado tratamiento de los mismos. El valor promedio obtenido de los SST es de 50.81 mg/L encontrándose dentro de los valores máximos permisibles de Resolución 631 de 2015, donde se establece un valor máximo de 100 mg/L. El cumplimiento de este parámetro se puede deber a los sedimentadores que se encuentran dentro de la PTAR.

- **Aceites y Grasas.** El valor obtenido de este parámetro es de 87.62 mg/L sobrepasando el valor máximo permisible de la resolución 631 de 2015 que es de 20 mg/L. La trampa de grasas que se encuentra en un estado desfavorable, como hemos mencionado antes debido al mal estado y falta de mantenimiento de la misma; lo que genera que este parámetro tenga una diferencia notable en cuanto al valor que establece la norma, ya que las aguas residuales domesticas en su gran parte son de uso informal comercial es el parámetro que mayor carga contaminante presenta, sin embargo no solo es necesario evaluar el rediseño de la trampa de grasas sino también se debe evaluar la adecuada operación de todo el sistema para mejorar la remoción de este, como lo son otros sistemas de tratamiento primarios y los filtros percoladores.

7.3. TERCERA FASE

Planteamiento y Selección de Parámetros de Optimización

De acuerdo con el diagnóstico de la PTAR de Tena y el comportamiento del afluente y efluente analizados en el capítulo 8.2. *Caracterización de las aguas*, se proponen las siguientes alternativas de optimización enfocadas en la mejora del funcionamiento de la planta según el rediseño de la PTAR teniendo en cuenta el caudal estimado a una proyección al año 2036 (capítulo), además del cumplimiento de los parámetros analizados en los laboratorios teniendo en cuenta los valores límites máximos permisibles según la resolución 631/2015.

Enfocando el estudio en los siguientes parámetros que no cumplen con el valor máximo permisible, los cuales fueron principal fuente para seleccionar la alternativa de mejora más adecuada: **DQO y Grasas y Aceites**; por otro lado, la **DBO₅**, se encuentra al margen del valor permisible pero considerando que la PTAR no mejore su operación y mantenimiento, la tendencia es que con el tiempo este parámetro también sobrepase los límites establecidos en la normatividad.

7.3.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

- **Rejillas.** Teniendo en cuenta que se debe contar con unas rejillas como tratamiento preliminar para la reducción de partículas y eliminación de residuos fácilmente separables, que no me generen obstrucciones en los procesos posteriores del sistema de tratamiento, considerando que la acumulación prolongada de estos residuos genera olores ofensivos, es así que se considera el diseño de las rejillas para su implementación, presentes en la siguiente tabla.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Separación entre Barras	S_p	4,00	cm
Ancho de barras	A_b	2,54	cm
Ancho Rejilla	A_r	50,00	cm
Inclinación de la rejilla	X	45,00	Grados
Eficiencia de la rejilla	E	0,61	%
Número de barras	n	7,03	un
Velocidad min	V	0,77	m/s
Factor forma de la barra	B	1,79	m
Ancho máximo transversal	W	0,03	m
Separación entre barras	b	0,04	m
Pérdida de carga	H1	0,04	m
Carga cinética del flujo	Hv	0,03	m

Fuente: Autores de proyecto, 2017.

El diseño de las rejillas se tuvo en cuenta de acuerdo a los parámetros establecidos en el RAS 2000. Título E para rejillas que deban limpiarse mecánicamente, considerando los siguientes aspectos:

Espacio entre barras = 3 a 77 mm

Velocidad mínima de aproximación = 0,3 a 0,9 m/s

Velocidad mínima entre barras = 0,6 a 1,2 m/s

Pérdida de cabeza = < 75 cm

De acuerdo con el diseño de las rejillas, estas se encuentran dentro de los rangos estipulados en el RAS.

- **Trampa de Grasas.** En cuanto a los parámetros de diseño de la trampa de grasas, establecidos en el RAS 2000, Título E (especificados en el Anexo 8. Parámetros de rediseño PTAR Tena). La trampa de grasas no se encuentra con las condiciones de diseño adecuadas en cuanto a la relación ancho/longitud; en cuanto a diámetros de salida y entrada de tuberías y sumergencia de tubería de salida y entrada está dentro de los rangos que especifica el RAS 2000.

Considerando una mejora en la disminución de los aportes contaminantes de GyA que son los valores más altos que se determinaron, debido a las actividades comerciales de las aguas residuales dentro del municipio y teniendo en cuenta que la relación de la actual trampa de grasas no cumple con la relación 1:4, con un ancho de 1.5 m y un largo de 2.0 m, se recomienda la construcción de otra trampa de grasas, con las siguientes medidas.

Tabla 56. Diseño trampa de grasas

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área	A	3,33	m ²
Largo	L	3,65	m
Ancho	a	0,91	m
Profundidad tanque	P	0,80	m
Volumen útil	Vu	3,20	m ³
Profundidad útil	Pu	0,96	m
Diámetro de tubería de entrada	Dc	50,80	cm
Sumergencia tubería de entrada	Se	20,00	cm
Diámetro tubería de salida	Ds	35,56	cm
Sumergencia tubería de salida	Ss	90,00	cm
Tiempo de retención	Tr	240,00	s

Fuente. Autores de proyecto, 2017.

Parámetros de diseño establecidos en el RAS 2000. Título E

El tanque debe tener $0,25\text{m}^2$ de área por cada L/s

Relación ancho/longitud de 1:4

Diámetro de entrada mínimo de 50 mm

Diámetro de salida mínimo de 100 mm

Sumergencia tubería entrada 150 mm

Sumergencia tubería salida mínimo 0,9 m

Tiempo de retención para caudales entre 10 -19 L/s = 4 min

Otra de las causas, que las GyA no se encuentre dentro de los valores permisibles de la Resolución 631/2015 se debe a la falta de mantenimiento de la trampa, lo cual puede ocasionar el arrastre de GyA por acumulación después de cierto tiempo debido a la falta de limpieza o purga de la trampa de grasas, dificultando la operación normal de los demás componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales, afectando parámetros como la DQO, DBO₅ y pH.

Se debe realizar la revisión de los pozos de inspección que se encuentra en la salida de la trampa y realizar el respectivo mantenimiento cada que las GyA ocupen el 25% del volumen de la trampa de grasas.

Se debe controlar la trampa de grasas mediante análisis de laboratorios (Método de extracción Soxhilet), el cual nos permita llevar un registro de este parámetro de calidad de las aguas en la entrada y las que están siendo vertidas. Finalmente se recomienda incluir tabiques para evitar zonas muertas en la trampa de grasas; Además incluir como tratamiento preliminar la implementación de rejillas para evitar obstrucciones por sólidos.

- **Sedimentador Primario.** El sedimentador primario debe remover partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm, por lo cual es necesario instalar rejillas, de modo que sirva como pre-tratamiento, como se observó el porcentaje de remoción es del 87%, es decir en cuanto a sólidos suspendidos totales el proceso es efectivo.

En general el sedimentador no cumple con los parámetros de diseño que establece el Título E del RAS 2000, en cuanto a número de tanques, sin embargo debido que la planta cuenta con más de un sedimentador el proceso para la remoción de sólidos suspendidos es efectiva.

En la siguiente tabla se observa el rediseño del sedimentador con un ancho de 1.73 m y un largo de 6.92 m.

Tabla 57. Diseño Sedimentador Primario

PARÁMETRO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
No. Tanques	N	3,00	un
Flujo Total	Q	1150,85	m ³ /día
Flujo/tanque	Qt	383,62	m ³ /día
Tasa de sobreflujo	Ts	32,00	m ³ /(día m ²)
Área superficial	As	11,99	m ²
Tiempo de retención	Tr	3,50	h
Volumen	V	55,94	m ³
Profundidad Tanque	H	4,67	m
Ancho	a	1,73	m
Longitud	l	6,92	m
Área seccional	A	8,08	m ²
Velocidad de flujo	v	0,03	m/min
Carga	q	27,00	m ³ /(día m)
Longitud pared	Lp	14,21	m
Pendiente del fondo	m	1,00	%

Fuente: Autores de proyecto, 2017.

Parámetros de diseño establecidos en el RAS 2000. Titulo E

Caudal medio = 33 m³/día

Caudal pico sostenido por 3 horas = 57 m³/día

Caudal pico = 65 m³/día

Relación L/H = 1,5:1 y 15:1

Profundidad = 2 y 5 m

Tiempo de retención > 1 h

Tasa de sobreflujo = 32 a 48 m³/m² día

- **Filtros Percoladores.** El filtro percolador que actualmente existe no cumple con los parámetros de diseño que establece el RAS 2000 en cuanto a la geometría, largo, ancho y profundidad del mismo; Sin embargo ya que en la planta se cuenta con dos filtros percoladores se considera adecuado para la remoción de las cargas contaminantes de DQO. A continuación se presenta el rediseño del filtro percolador considerando un caudal de diseño de 13.32 l/s

Tabla 58. Diseño Filtros Percoladores

PARÁMETRO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población de diseño	P	2026,00	habitantes
Dotación de agua	D	163,00	L/(habitante.día)
Contribución de aguas residuales	C	0,80	adimensional
Contribución per cápita de DBO5	Y	178,51	grDBO5/(habitante.día)
Producción per cápita de aguas residuales: $q = D \times C$	q	130,40	L/(habitante.día)
DBO5 teórica: $St = Y \times 1000 / q$	St	1368,94	mg/L
Eficiencia de remoción de DBO5 del tratamiento primario	Ep	0,30	%
DBO5 remanente: $So = (1 - Ep) \times St$	So	958,26	mg/L
Caudal de aguas residuales: $Q = P \times q / 1000$	Q	264,19	m3/día
Dimensionamiento del filtro percolador			
DBO requerida en el efluente	Se	300,00	mg/L
Eficiencia del filtro $E = (So - Se)/So$	E	0,69	%
Carga de DBO $W = So \times Q / 1000$	W	253,16	kgDBO/día
Caudal de recirculación	QR	0,00	m3/día
Razón de recirculación $R = QR/Q$	R	0,00	adimensional
Factor de recirculación $F = (1 + R)/(1 + R/10)^2$	F	1,00	adimensional
Volumen del filtro $V = (W/F) \times (0,4425E/(1-E))^2$	V	238,66	m3
Profundidad del medio filtrante (H):	H	1,80	m
Área del filtro $A = V/H$	A	132,59	m2
Tasa de aplicación superficial $TAS = Q/A$	TAS	1,91	m3/(m2.día)
Carga orgánica $CV = W/V$	CV	1,06	Kg DBO/(m3.día)
FILTRO RECTANGULAR			
Largo del filtro	l	8,35	m
Ancho del filtro	a	15,88	m

Fuente: Autores de proyecto, 2017.

Parámetros de diseño establecidos en el RAS 2000. Título E

Profundidad del filtro = < 60 m

Profundidad mínima del medio filtrante = 90 cm

Profundidad máxima del medio filtrante = 180 cm

Carga Volumétrica = 0,1- 8,0 kgDBO₅/m³/día

No obstante los valores de DQO están superando los valores máximos permisibles en la normatividad y la DBO₅ se encuentra al límite de sobrepasar los niveles permisibles, por esta razón se recomienda que los medios de soporte que en este caso son los anillos de polipropileno estén sostenidos bajo una malla o red de modo que los mantenga a una profundidad de 30 cm sobre los desagües, ya que estos no se encuentran distribuidos de forma correcta como se puede apreciar en el Anexo 8. Anexos fotográficos, por lo cual se recomienda reubicar estos anillos de manera uniforme dentro de los filtros permitiendo que los microorganismos degrade la materia orgánica y así transformarla en sólidos sedimentables, además se considera el material de soporte para los filtros percoladores debe ser cambiado por una material más ligero y con mayor área superficial específica.

Por último se recomienda complementar el proceso con un sistema de aireación que permita asegurar la vida útil de las bacterias de modo que mejore la efectividad de la PTAR.

Otro factor que se debe considerar es el almacenamiento de los anillos que no están en uso, ya que estos deben disponerse en áreas duras y limpias y no como se encuentran en la PTAR de Tena, que se encuentran en pastizales alrededor de la planta.

Por último, para el control de moscas en los filtros, se recomienda las siguientes medidas, mencionadas en el RAS 2000, Título E; que aplican para la PTAR de Tena:

- Cargar en forma continua y, en caso necesario, aumentar la carga.
- Lavar la superficie con chorros de agua para disminuir la acumulación de biomasa. Lavar fuertemente las partes internas de las paredes del filtro que estén libres en su parte superior.
- Aplicar productos químicos adecuados, bajo dirección técnica. Eventualmente, repetir la aplicación para matar las larvas.

- **Sistema de aireación.**

Se recomienda la instalación de un sistema de aireación que permita cumplir con los porcentajes de remoción necesarias de DQO establecidos en la Resolución 631/2015, utilizando el método de dispersión que consiste en aspersores de burbujeo simple por medio de difusores; este sistema resulta ser la mejor alternativa debido que consume cantidades de energía por debajo del 60% en comparación con los sistemas de aireación superficiales. (Metcalf Et, 2010)

A continuación se calcula el caudal de aire necesario, para remover la cantidad de DBO máxima presente en el agua residual. Inicialmente se procedió a determinar la cantidad de DBO que alimenta diariamente al sistema de tratamiento, de acuerdo al caudal de diseño proyectado para el año 2039 (9,8L/s) para poder determinar el caudal de aire.

$$\frac{585.5 \text{ mg DBO}}{L} * \frac{1 \text{ kg DBO}}{1000000 \text{ mg DBO}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{847 \text{ m}^3}{\text{día}} = 494.1 \text{ Kg} \frac{\text{DBO}}{\text{día}}$$

$$\frac{494.1 \text{ mg DBO}}{L} * \frac{154 \text{ m}^3 \text{ Aire}}{1 \text{ Kg DBO}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 52.84 \text{ m}^3 \text{ Aire}/\text{min}$$

Para remover los 583 mg DBO/L es necesario trabajar con un caudal de aire de 52,84 m³/min

- **Sedimentador de Alta Tasa.** Como se puede observar en la siguiente tabla, el sedimentador de alta tasa cumple con los parámetros de diseño adecuados para el tratamiento de aguas residuales establecidos en el RAS 2000 como se evidencia en el Anexo 7. Parámetros de rediseño. PTAR. Considerándolo una de las partes del sistema que más efectiva.

Tabla 59. Diseño sedimentador Alta Tasa

PARAMETRO	VALOR
Caudal <l/s>	13,32
Largo del sedimentador <m>	5,40
Ancho del sedimentador <m>	8,35
Profundidad del sedimentador <m>	3,24
Volumen del sedimentador <m ³ >	146,09
Tiempo de retención <horas>	2,40
Una sola línea de placas planas por cada sedimentador	
Alto de las placas <m>	1,20
Ancho de las placas <m>	2,40
Espesor de las placas <m>	0,01
Separación entre placas <m>	0,05
Angulo de inclinación de las placas <º>	60,00
Carga hidráulica <m ³ /(m ² *día)>	120,00
Área de sedimentación acelerada <m ² >	9,59
Largo de la sección de sedimentación acelerada <m>	1,78
Velocidad de flujo en el sedimentador de placas <m/día>	0,01
Viscosidad del agua <m ² /s>	0,00
Número de Reynolds <>	0,01
Longitud relativa de sedimentación <>	24,00
Longitud relativa de la sección de transición <>	0,00
Longitud corregida de sedimentación <>	24,00
Velocidad crítica de sedimentación <m/día>	9,33
Tiempo de retención <min>	143,56
Número de placas <>	26,00

Fuente: Autores de proyecto, 2017.

Parámetros de diseño establecidos en el RAS 2000. Título E

Placa Angosta	1,20 m	Alto
	2,4 m	Ancho
Placa Profunda	1,2 - 1,5 m	Ancho
	2,40 a 3,2 m	Profundidad
Pendiente	50 - 60 °	
Separación entre placas	50 cm	

- **Escalones de aireación**

Teniendo en cuenta que los escalones ya están diseñados se tomaran las medidas con las que se encuentran construidos y se hará una verificación si el número de escalones construidos es correcto es necesario construir más.

Para esto se tendrá en cuenta:

Ancho: 1.50m

Largo: 2.15m

Caudal de diseño: 13.32L/s

Numero de escalones: El área requerida para los escalones varía entre 0.05 y 0.15m² por l/s de agua tratada.

$Ne = Ae / Q * Ar$

Donde:

Ne: Numero de bandejas

Q: Caudal de diseño

Ar: Área requerida por escalones

Ae: Área de escalones

$$Ne = \frac{3.22m^2}{\frac{13.32L}{s} * 0.05m^2} = 4.8 \text{ escalones}$$

Se puede evidenciar que frente al diseño de los escalones en la PTAR, este se realizó de forma acertada ya que se tienen dos escalones más aparte de los necesarios para la aireación de las aguas antes de salir de la planta; sin embargo como se menciona antes se recomienda un sistema de aireación con el método de difusores para mayor eficiencia.

- **Lechos de secado.** Para el nivel de complejidad del Municipio se considera la mejor opción, sin embargo, por las condiciones de la PTAR, no fue posible llegar a los lechos de secado para hacer una evaluación detallada de la misma, aunque de las cuatro visitas que se realizaron se concluyó que los lechos de secado no están en buen estado con acumulación de lodos, simplemente fueron diseñados y construidos.

Como se observa en el Anexo 9. Anexos fotográficos, las capas de lodos superan más de 30 cm de altura, lo que afecta el drenaje y la evaporación y no permite que la humedad sea favorable, dentro del orden del 60%, por tal razón se recomienda como primera medida podar la entrada hacia los lechos de secado, para que la persona encargada del mantenimiento y control de los lodos, pueda realizar el control en cuanto a la arena perdida durante la remoción del lodo seco y evitar la colmatación de los lodos.

Por otro lado, se recomienda la construcción de los lechos de secado, teniendo en cuenta el rediseño que se establece en la siguiente tabla, la cual se encuentra en el Anexo 8. Parámetros de Rediseño PTAR con sus especificaciones.

Tabla 60. Diseño Lechos de Secado

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Contribución per cápita	q	182,34	kg SS/día
Masa de solidos que conforman lodos	Msd	59,26	Kg SS/día
Densidad de los lodos	plodo	1,04	kg/l
% solidos	% Solidos	0,12	%
Volumen diario de lodos digeridos	Vld	474,84	L/días
Tiempo de digestión	Td	30,00	días
Volumen de lodos a extraerse del tanque	Vol	14,25	m ³
Profundidad de aplicación	Ha	0,20	m
Área de lecho de secado	Alodo=	71,23	m ²
Ancho	a	17,00	m
Largo	l	6,00	m

Fuente: Autores de proyecto, 2017.

Finalmente, uno de los posibles usos que se puede dar a los lodos es su aplicación en la agricultura ya que se consideran como fuente de materia orgánica, debido que mejora notablemente las condiciones físicas y químicas del suelo agrícola, mejorando: niveles de materia orgánica, densidad aparente, formación y estabilidad de agregados, retención de humedad e incremento en el tamaño de poros. Además, aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuye a disminuir el

consumo de fertilizantes químicos. (Introducción a la ciencia del suelo, 2002)

De manera general en el sistema, debido a los olores ofensivos que se desprende de la PTAR, se recomienda llevar un manual de operación y limpieza que contemple los siguientes aspectos:

- **Plan de limpieza.** Se debe limpiar el tanque con agua químicamente tratada (cloro), se debe usar deflectores de espuma en caso de que no funcione el equipo de limpieza mecánica.
- **Control de Olores.** Evitarse la acumulación excesiva de lodos, quitar la capa de natas que se forma en la superficie del agua (mínimo dos veces por semana).

7.3.2. Análisis Costo – Beneficio

Actualmente las autoridades ambientales sancionan a quienes no cumplan la norma, en este caso si se sobre pasan los valores límites permisibles de vertimientos en aguas superficiales como la quebrada Los Micos. Uno de los beneficios más importantes de la optimización de la PTAR es el no pagar estas multas o sanciones por incumplir con los vertimientos que exige la Resolución 631 de 2015. El cálculo, se realizó con una relación benéfico-costos según el costo de la optimización propuesto.

Tabla 61. Costos Optimización de la PTAR

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MANTENIMIENTOS				
MANTENIMIENTO INICIAL	Día	1	\$150.000	\$150.000
MATENIMIENTO Y LIMPIEZA	Día	20	\$50.000	\$1'000,000
TRAMPA DE GRASAS				
TABIQUES	GL	1	\$2.000.000	\$ 2.000.000
ANALISIS DE LABORATORIO AYG BACTERIAS	GL	5	\$1.000.000	\$5.000.000
	GL	1	\$3.000.000	\$ 3.000.000
SEDIMENTADOR A LA SALIDA				
SISTEMA DE AIREACIÓN	GL	1	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
COMPRESOR DE AIRE	GL	1	\$4.000.000	\$ 4.000.000
FILTRO PERCOLADORES				
MALLA	GL	2	\$800.000	\$ 1'600.000
COSTOS DIRECTOS				\$ 31'750.000
COSTOS INDIRECTOS				\$ 3'175.000
Imprevistos	5%			\$ 1'587.500
Utilidad	5%			\$ 1'587.500
COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS				\$ 34'925.000
Interventoría	7%			\$ 2'444.750
TOTAL PRESUPUESTO				\$ 37'369.750

Fuente. Autores del Proyecto, 2017.

Tabla 62. Costo tasa Retributiva

DBO	SST
\$131.17	\$56.096

Fuente. Informe Técnico DESCA N° 0345, 2017

Tabla 63. Valores Permisibles Anuales

	DBO (KG/AÑO)	SST (KG/AÑO)
CASCO URBANO	4455,03	1858,07
GRAN VÍA	15887,29	16073,25
TOTAL	20342,32	17931,32

Fuente. Informe Técnico DESCA N° 0345, 2017

Para este caso se tiene una vida útil de 20 años determinada para la PTAR, así se determinó el valor aproximado que deberá pagar el municipio en 20 años y la recuperación de la inversión.

$$\text{Valor anual DBO} = \text{DBO TOTAL} \left(\frac{\text{KG}}{\text{AÑO}} \right) * \text{VALOR DE DBO} (\$)$$

$$\text{Valor anual SST} = \text{SST TOTAL} \left(\frac{\text{KG}}{\text{AÑO}} \right) * \text{VALOR DE SST} (\$)$$

$$\text{Valor Anual DBO} = 20342.32 \text{ kg /año} * \$131.17 \text{ kg/año} = \$2'668.302$$

$$\text{Valor Anual SST} = 17931.32 \text{ kg/año} * \$56.096 \text{ kg/año} = \$1'005.768$$

$$\text{Valor total anual} = \$2'668.302 + \$ 1'005.768 = \$ 3'674.070$$

Tabla 64. Proyección Costo Tasa Retributiva

AÑO	COSTO
2016	\$3.674.070
2017	\$3.857.773
2018	\$4.050.662
2019	\$4.253.195
2020	\$4.465.855
2021	\$4.689.148
2022	\$4.923.605
2023	\$5.169.785
2024	\$5.428.275
2025	\$5.699.688
2026	\$5.984.673
2027	\$6.283.906
2028	\$6.598.102
2029	\$6.928.007
2030	\$7.274.407
2031	\$7.638.127
2032	\$8.020.034
2033	\$8.421.035
2034	\$8.842.087
2035	\$9.284.192
2036	\$9.748.401
2037	\$10.235.821
Total	\$141.470.847

Fuente. Autores del proyecto, 2017

De acuerdo al plan de manejo de aguas residuales municipales en Colombia el costo por el tratamiento de enfermedades diarreicas anual conlleva a la falta de presencia en el trabajo para las personas y enfermedades agudas en los niños, los costos se presentan a continuación:

NIÑO \$ 86.610

ADULTO \$ 173.220

Relación Beneficio – Costo

Para el análisis se debe tener en cuenta el costo por el pago de multas en 20 años, vida útil proyectada para la PTAR, el costo por operación de la planta, la

tasa de retorno del municipio para los parámetros establecidos por normatividad vigente y el costo por enfermedades de un niño con EDA y una persona mayor con un enfermedad de gastroenteritis.

$$RBC = \frac{CMA(20años)+COP+TRM+CE}{I}$$

- I= Inversión inicial.
- CMA= Costo de multas anuales (20 años).
- COP= Costos de operatividad de la planta.
- TRM= Tasa de retorno del municipio.
- CE= Costo por enfermedades

$$RBC = \frac{\$150'167.247}{\$34'528.125}$$

$$RBC= 4.3$$

Adicional se tienen los siguientes beneficios, teniendo en cuenta la siguiente caracterización ambiental, que se presenta en el Anexo 10. Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales significativos.

Figura 2. Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales significativos

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS														
IDENTIFICACION DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES						VALORACION DE SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL								
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD		IMPACTO AMBIENTAL				LEGAL			IMPACTO AMBIENTAL				PARTES INTERESADAS	SIGNIFICANCIA TOTAL DEL ASPECTO
PROCESO	ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	COMPONENTE	DESCRIPCION DEL IMPACTO	Existencia	Cumplimiento	TOTAL CRITERIO LEGAL	Frecuencia	Severidad	Alcance	TOTAL CRITERIO IMPACTO AMBIENTAL	Exigencia/Acuerdo	
VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LA QUEBRADA LOS MICO	VERTER AGUAS AL ALCANTARILLADO	Vertimientos	Contaminación de agua	Hidrico	Por vertimiento de aguas institucionales, comerciales, industriales y domésticas al cuerpos de agua superficial sin ser tratadas	10	10	100	10	10	10	100	10	86,5
			Afectación en la salud	Biosferico	Por el uso del agua en cultivos y/o consumo de las mismas, por poblaciones aledañas	10	10	100	10	10	10	100	5	85,75
			Contaminación del suelo	Geosferico	Contaminación del suelo por vertimientos de aguas residuales sin tratar al ambiente	10	10	100	10	5	10	82,5	10	80,375
		Generación de vectores	Contaminación del ambiente	Biosferico	Por aparición de vectores en la PTAR debido a la flata de mantenimiento de la misma	1	1	1	5	5	5	50	5	18,75
		Generación de olores ofensivos	Afectación en la salud	Atmosferico	Debido a posibles afectaciones en el sistema respiratorio de las personas aledañas a la quebrada o a la PTAR	10	10	100	5	1	5	36	5	63,35
		Generación de lodos	Contaminación del suelo	Geosferico	Por lodos sin tratar de aguas vertidas por el municipio, además de acumulación en los lechos de secado sin su recolección	1	10	10	5	1	1	24	1	13,55
			Contaminación del ambiente	Atmosferico	Por acumulación y coimatación de lodos en los lecho de secado	1	10	10	5	1	1	24	1	13,55
		Falta de orden y aseo	Contaminación del ambiente	Geosferico	Por la falta de mantenimiento de la PTAR, lo que genera baja operatividad de la misma	1	1	1	10	1	1	41,5	1	15,175

Fuente. Autores del proyecto, 2018

BENEFICIOS SOCIALES:

- Existen beneficios intangibles, tales como la mejora del aspecto del lugar y la desaparición de malos olores. Estos beneficios son relevantes ya que existe una población cercana a la salida de la planta que pueda percibir estos factores; además es importante asegurar la calidad de vida de las personas que por algún motivo estén en contacto directo con este cuerpo de agua.
- La calidad del agua empleada por los humanos directamente para su consumo ejerce un efecto sobre la salud. Existe una relación entre la contaminación del agua y una serie de padecimientos conocidos como enfermedades hídricas, cuya manifestación es del orden gastrointestinal. La mayoría de las infecciones de origen hídrico pueden transmitirse ingiriendo agua o alimentos contaminados por bacterias o virus entéricos o por contacto directo con aguas contaminadas. Al tratarse las aguas residuales estos riesgos disminuyen, ya que la calidad del recurso hídrico mejora y hace que no se presenten estas enfermedades. Asumiendo que el agua sea para uso doméstico aguas debajo de la quebrada.

BENEFICIOS AMBIENTALES:

- Se podrá tener un vertimiento de menor grado de contaminación en el recurso hídrico, lo que genera que las condiciones normales de las aguas de la quebrada se mantengan sin alterar ecosistemas que dependan de él.
- Se hará una reducción en los vectores generados cerca a la quebrada.
- Los ecosistemas que dependan de la quebrada Los Micos podrán tener una reproducción adecuada, ya que no se alterara el medio donde se hace la misma, para evitar desplazamiento o creación de especies que alteren de forma inadecuada el normal desarrollo de los ecosistemas.

CONCLUSIONES

- Las dimensiones de la PTAR son de 27,9 m de largo y 9,10 m de ancho con un área total de 253,89 m² para el tratamiento total de las aguas residuales. Siendo la trampa de grasas y los lechos de secado los únicos que se consideran un rediseño total.
- Para la verificación de tuberías se tuvo en cuenta los estudios realizados y la visita de campo donde se tomaron los niveles topográficos para el correcto funcionamiento de las mismas; permitiendo que las aguas residuales llegaran hasta la entrada de la planta de tratamiento y así poder hacer la remoción de la carga orgánica sin necesidad de un sistema de bombeo.
- La DBO cumple con los valores máximos permisibles en un vertimiento de agua superficial de acuerdo a la Resolución 631/2015 con un valor de 288,19 mg/L, sin embargo este valor denota que está próximo a sobrepasar el límite.
- La remoción de DQO y Grasas y aceites en la planta de tratamiento alcanza un valor máximo de 775,62 mg/L y 87,62 mg/L respectivamente. Siendo las secciones que menos eficientes del sistema los filtros percoladores y la trampa de grasa para la remoción de estos parámetros.
- Los aceites y grasas no cumple con el nivel máximo permisible de vertimiento según la resolución 631 de 2015, ya que su valor de salida es de 87.62 mg/L en promedio de las dos visitas que se hicieron para analizar los parámetros químicos de las aguas residuales. Esto se debe a que la capacidad de la trampa de grasas supera la cantidad de carga orgánica ya que por el uso de las actividades comerciales del municipio, las grasas y aceites son las de mayor acumulación; por lo tanto se recomienda la construcción de una trampa de grasas a parte de la existente.
- Los parámetros físicos tales como pH y temperatura son relativamente constantes, implicando ahorro en equipos al no ser requerido un tanque de homogenización para el ingreso el agua residual a la PTAR.
- La viabilidad del proyecto es notable cuando en la relación de beneficio-costos se evidencia un valor de 4.3, estando por encima de 1.

RECOMENDACIONES

- La planta de tratamiento de aguas residuales debe tener una operatividad continua, además de alguien que se encargue del mantenimiento de la trampa de grasas y los lechos de secado.
- Se recomienda tener un control y mantenimiento preventivo en los pozos de control para evitar que las aguas residuales tengan alguna obstrucción y no lleguen a la planta de tratamiento.
- Como medida preventiva se sugiere que la planta trabaje mínimo con un caudal de 4,9 L/s para evitar costos adicionales por el estancamiento de las aguas sin tratar, debido a que la pendiente es muy baja se recomienda de todas formas la instalación de un sistema de bombeo.
- Se requiere pre-tratamiento del agua antes de ingresar a la trampa de grasas. La trampa de grasas debe ser adecuada con tabiques para disminuir la posibilidad de puntos muertos. El material de soporte de para los filtros percoladores debe ser cambiado por una material más ligero y con mayor área superficial específica de más de 180 m²/m³.

BIBLIOGRAFÍA

- Crespo Martínez, A., Mecánica de fluidos, 2011, Paraninfo, Madrid, España.
- Ramalho, R., Tratamiento de aguas residuales, 1996, Reverté, Barcelona, España.
- Cegarra, J., Metodología de la investigación científica y tecnológica, 2004, Edigrafos, Madrid, España.
- Romero, J A., Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2000, Escuela Colombiana de ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Comisión estatal de aguas de Jalisco, Operación y mantenimiento de planta de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados, 2013, Jalisco, México.
- Crites, R., Tchobanoglous, G, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, 2000, Mc graw hill, USA.
- Rodie, B., Hardenbergh, Ingeniería sanitaria, 1987, Continental S.A., México
- López, R., Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995, Bogotá, Colombia.
- Felez, M., Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. (2009).
- Quintero, A., Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida (Quindío), (2007), Tomado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>
- Anaya N, Villar R. (2009). Diseño de planta para aguas residuales de Malaga.
- NyF de Colombia. (31 de agosto de 2015). Tomado de <http://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-aguas-residuales>
- Peña, B. S. (2012). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Colombia. Informe de prácticas.
- Carmona, R. P. 2013. Diseño y Construcción de Alcantarillados Sanitario, Pluvial y Drenaje de Carreteras. Bogotá, EOE Ediciones.
- Francisco, U. O., 2002. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. México: LIMUSA S.A. de CV GRUPO NORIEGA EDITORES.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – República de Colombia, Sólidos Suspendidos Totales en Agua Secados a 103 – 105 °C, IDEAM, Versión 3, 2007
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – República de Colombia, Determinación de Oxígeno Disuelto Método Yodométrico Modificación de Azida, IDEAM, Versión 1, 2004
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – República de Colombia, Determinación de Grasas y Aceites en Aguas por el Método Soxhlet, IDEAM, Versión 2, 2007
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – República de Colombia, Demanda Bioquímica de Oxígeno – 5 Días,

- Incubación y Electrometría, IDEAM, Versión 2, 2007
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – República de Colombia, pH EN Agua por Electrometría, IDEAM, Versión 3, 2007
 - MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – República de Colombia, Demanda Química de Oxígeno por Reflujo Cerrado y Volumetría, IDEAM, Versión 2, 2007
 - ALCALDIA DE TENA. Esquema de ordenamiento territorial, Tena, 2000.
 - CORPORACION AUTONOMA REGIONAL. Informe Final Tena (Latín Consult), Versión 2, Tena, 2011
 - CORPORACION AUTONOMA REGIONAL. Diseños De Detalle Para La Construcción De Obras De Saneamiento En La Cuenca Del Rio Bogotá, paquete 2, Tena, 2011.
 - MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000 sección II Título E tratamiento de aguas residuales, Bogotá, 2000.
 - Superintendencia de servicios públicos y domiciliarios, Informe técnico sobre sistema de tratamiento de aguas residuales en Colombia, (2013), Tomado de:
<http://www.superservicios.gov.co/content/download/4989/47298/file/Informe%20T%C3%A9cnico%20sobre%20%20Sistemas%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales.pdf>