1. NORMATIVIDAD

Los diseños hidráulicos y de procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas se llevan a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la siguiente normatividad.

- Resolución 0330 del 2017 - Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS (Título II).

- Título J – Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural.

- Norma Técnica Colombiana NTC 1500: Código Colombiano de Fontanería.

2. ALCANCE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROYECTADO

El sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas para las ciento sesenta y ocho (168) viviendas individuales comprende el diseño del pozo séptico y la red de infiltración; el diseño se realiza por tres (3) métodos diferentes para un sistema integrado, que permita determinar la mejor alternativa al compararse con el sistema diseñado en concreto, teniendo en cuenta los costos principalmente, además de la capacidad del sistema proyectado.

2.1 LOCALIZACIÓN

Los sistemas de tratamiento se construirán en ocho (8) veredas del Municipio de Tello, departamento del Huila.

2.2 CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño para el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas se calcula a partir de la dotación neta máxima permitida de acuerdo con el Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017.

Los sitios de intervención se localizan a una altura media sobre el nivel del mar de 900 metros; por lo tanto, la dotación máxima que se adopta será de 140 L/hab-día.

Debido a que los sistemas de tratamiento propuestos únicamente tratarán aguas residuales domésticas, el caudal de diseño será netamente doméstico, es decir, no habrá caudales comerciales ni institucionales.

Dicho lo anterior; a continuación, el caudal de diseño de aguas residuales domesticas se determina con la siguiente expresión:

$$QmdAR = \frac{P \times Dotacion\ neta}{86400} \times 0.85$$

Donde:

P = Población estimada para cada una de las viviendas
D = Dotación máxima asumida =140 L/hab.-día
86400 = factor conversión de días a segundos
0.85 = fracción de aguas del consumo de agua que se convierte en agua residual.

La Tabla 1 presenta el caudal de diseño.

Tabla 1. Caudal de diseño aguas residuales domésticas puntos de vertimiento

Punto vertimiento	Población Proyectada (hab)	Dotación (L/hab - día)	Volumen (L/día)	Caudal (L/s)
Vivienda	6	140	840	0.00826

2.3 CARGA ORGÁNICA

No se tiene un estudio de caracterización del agua residual generada. Se espera que con el tren de tratamiento propuesto (trampa de grasas + tanque séptico + FAFA + campo de infiltración), se logre un porcentaje general de remoción del 90%.

3. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO - 1.

3.1 SISTEMA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Para tratar las aguas residuales la alternativa seleccionada consiste en:

- Trampa de grasas prefabricada con volumen de 105 litros o lo que comercialmente más se acerque a este volumen.
- Tanque integrado séptico y FAFA.
- Descarga a campo de infiltración.

Para el dimensionamiento de cada uno de los componentes de esta alternativa, se emplea la siguiente metodología

3.1.1 Trampa de grasas

Por practicidad y facilidad constructiva, se propone que esta estructura sea prefabricada; por lo tanto, el dimensionamiento se centrará en determinar el volumen útil requerido.

Para el dimensionamiento de la trampa de grasas, se determina su volumen partiendo de un tiempo de retención hidráulico que, según el Artículo 172 de la Resolución 0330 de 2017, debe ser mayor de 2.5 minutos; por lo tanto, si se asume un tiempo de 5 minutos, el volumen útil será:

$$Volumen = Qdiseño \times TRH \times 60 = 0.00826 \frac{L}{seg} \times 5\ min \times \frac{60\ seg}{1\ min} = 2.5\ Litros$$

Para un tiempo de retención de 5 minutos se obtiene un volumen de 2.5 litros. Este sería el volumen mínimo que debería tener la trampa de grasas; no obstante, comercialmente las trampas de grasas se consiguen desde un volumen de 105 L, por lo tanto, este será el volumen final de la trampa de grasas.

Finalmente, en cuanto a la geometría de la trampa de grasas, dependerá del proveedor, quien deberá cumplir con lo estipulado en el Artículo 172 y174 de la Resolución 0330 de 2017.

3.1.2 Tanque séptico

A continuación, se presenta el cálculo del volumen que deberá tener el tanque prefabricado y con el cual el contratista deberá buscar en el mercado de proveedores de tanque séptico prefabricados.

El volumen útil total de un tanque séptico, matemáticamente, se define de la siguiente manera:

$$Vu = Vrs + Vl + Vn + Vv$$

Donde:
Vu = Volumen útil del tanque (m^3)
Vrs = Volumen sedimentación (m^3)

Vl = Volumen almacenamiento de lodos (m^3)
Vv =Volumen ventilación

Por otro lado, el tiempo de retención del tanque debe estar en el rango: mínimo de 12 horas y máximo 24 horas.

De acuerdo con lo anterior, se tomarán 12 horas para el diseño.

A continuación, se procede a la estimación de cada uno de los volúmenes definidos anteriormente.

El volumen de sedimentación (Vrs) se determina con la siguiente expresión

$$Vrs = \frac{P \times D \times td}{1000} = \frac{6 \times 140 \times 0.50}{1000} = 0.42\ m^3$$

Donde:

P = Población proyectada = 6 hab
D = Dotación = 140 L/hab.-día.
Td = Tiempo de retención = 12 horas = 0.5 días
Vrs = Volumen sedimentación = **0.42 m^3**

El volumen de almacenamiento de lodos se calcula con la siguiente expresión:

$$Vl = \frac{Tl \times P \times N}{1000} = \frac{70 \times 6 \times 2}{1000} = 0.84\ m^3$$

Donde:

P = Población proyectada = 6 hab.
Tl = Tasa acumulación de lodos = 70 L/hab-año (asumiendo entrada de agua grises).
N = Años de limpieza = 2 años
Vl = Volumen acumulación lodos = **0.84 m^3**

El volumen de almacenamiento de natas y espumas se determina de la siguiente manera:

$$Vn = \frac{Tn \times P \times N}{1000} = \frac{3.50 \times 6 \times 2}{1000} = 0.042\ m^3$$

Donde:

P = Población proyectada = 6 hab.
Tn = Tasa acumulación de natas = 3.5 L/hab-año
N = Años de limpieza = 2 años
Vl = Volumen acumulación lodos = **0.042 m^3**

Debido a que el volumen de natas resultante con la metodología anterior es muy pequeño, se asumirá de 0.4 m^3, es decir, 10 veces más del calculado.

Finalmente, el volumen útil mínimo total del tanque es de

$$Vu = Vrs + Vl + Vn + Vv = 0.42\,m^3 + 0.84\,m^3 + 0.4\,m^3 = \mathbf{1.66\,m^3}$$

3.1.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Se propone que el FAFA a instalar sea prefabricado en materiales plásticos, al igual que el medio de soporte.

El Artículo 175 de la Resolución 0330 de 2017 establece que el volumen de un FAFA puede estimarse como *"0.02 a 0.04 m^3 por cada 0.1 m^3/d de aguas residuales que se van tratar; también será posible emplear material filtrante plástico, utilizando la mitad del volumen anterior"*

De acuerdo con la anterior definición, el volumen de FAFA sería:

$$V\,FAFA = \frac{0.04\,m^3}{0.1\,{}^{m^3}/_{día}} \times \left[0.00826\,{}^{L}/_{s} \times \frac{86400\,seg}{d} \times \frac{1\,m^3}{1000\,L}\right] = 0.285\,m^3 \approx 285\,L$$

Tomando este volumen y chequeando el tiempo de retención hidráulico, se tiene que:

$$TRH = \frac{Vol}{Q} = \frac{285\,L}{0.00826\,L/s} = 34504\,seg = \mathbf{9.6\,horas}$$

Si bien, ni en la Resolución 0330 de 2017 ni en el RAS 2000 se define el tiempo de retención como una variable de diseño, al revisar el Titulo E del RAS (2000) —numeral E 4.7.9.1 (Tabla E.4.29) — se encuentra que el tiempo de retención calculado anteriormente está dentro de los rangos recomendados; por lo tanto, el volumen mínimo que deberá tener el FAFA suministrado deberá ser de **285 L.**

Al ser un tanque integrado el volumen total será: tanque séptico + FAFA = 1660 L + 285 L = **1945 L**

Al revisar los catálogos de algunos proveedores, se encuentra que, comercialmente, el volumen más cercano de un sistema integrado prefabricado corresponde a **2000 L.**

La geometría y todos los elementos internos del tanque séptico dependerán del diseño del proveedor, quien deberá cumplir con el Artículo 173 y 174 de la Resolución 0330 de 2017.

3.1.4 Campo de infiltración

El efluente del FAFA se enviará a un campo de infiltración ubicado aguas abajo del FAFA.

Para la estimación del área de infiltración se partirá de la siguiente expresión:

$$A = \frac{Qmd}{Ch}$$

Donde,

A = Área útil del campo de infiltración (m^2)

Qmd =Caudal medio de aguas residuales (m^3/día)

Ch = Carga hidráulica (m/día)

Se asumirá una carga hidráulica de 100 L/día/m^2

Por lo tanto, el área útil del campo de infiltración será:

$$A = \frac{0.00826 \times 86400}{100} = 7.14\, m^2$$

El número de zanjas y el número de tuberías se calcula de la siguiente manera:

$$Número\ de\ Zanjas = \frac{A}{B \times l} = \frac{7.14}{0.50 \times 10} = 1.43 \approx 2.0$$

Donde:

A = Area del campo de infiltración (m^2) = 7.14

B = Ancho de zanja (m) = 0.50

L = Longitud de zanja (m) = 10

De acuerdo con los cálculos anteriores, el campo de infiltración tendrá las siguientes características:

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Área total	m^2	7.14
Longitud de cada zanja	m	10
Ancho de zanja	m	0.50
Número de zanjas	un	2
Diámetro tubería	m	0.10
Pendiente	%	2.0%

RECOMENDACIONES INSTALACIÓN

Será el fabricante del sistema quién suministre las recomendaciones y preste la asesoría necesaria para la instalación de cada uno de los sistemas dimensionados anteriormente.

A continuación, se listan algunas recomendaciones, las cuales fueron tomadas de los folletos técnicos de ROTOPLAST.

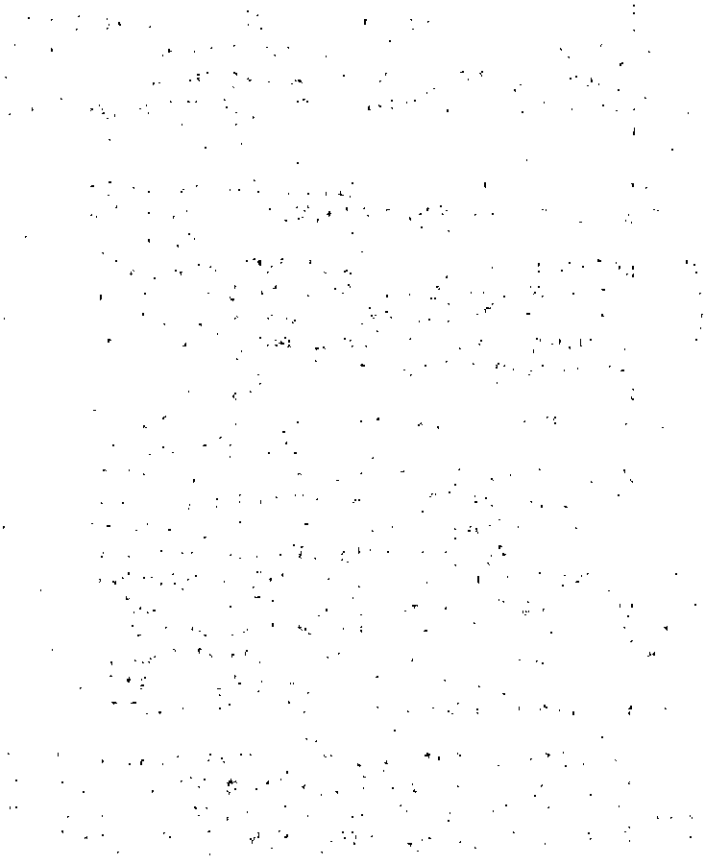
Figura 1. Recomendaciones de instalación. Fuente; ROTAPLAST.

INSTRUCCIONES PARA LA INSTALACIÓN

Los Sistemas Sépticos Integrados ROTOPLAST están diseñados para ser instalados, semienterrados o enterrados dejando sólo por fuera del hueco la parte del tanque que queda sin agua(30 cm por debajo de la parte superior) y con la tapa a la vista o con fácil acceso para su inspección y mántenimiento. Su instalación deberá hacerse siguiendo los siguientes pasos:

- Se debe instalar en sitios por donde no transiten vehículos , animales ni personas y las condiciones del suelo deben ser estables.
- Una vez elegido el sitio , se debe hacer la excavación de sección trapezoidal de un tamaño tal que permita una separación entre el tanque y las paredes del hueco de por lo menos 20 cm . La profundidad del hueco debe permitir que el tanque quede enterrado entre el 40 y el 80 % de su altura total , para evitar que el suelo o el agua freática pueda levantarlo o deformarlo.
- El fondo de la excavación debe quedar bien nivelado y libre de piedras que puedan dañar el tanque. Para ello puede utilizarse una capa de arena de 5 cm o más.
- Una persona parada en la excavación deberá llenar los espacios para que no queden espacios vacíos debajo del tanque.
- Conectar la tubería de PVC a los accesorios del tanque . Si quedan goteos , se debe llenar con silicona.
- Agregar agua al tanque séptico y al filtro anaerobio y a medida que se va llenando el tanque, se va llenando la excavación , hasta que el tanque quede totalmente instalado.
- En terrenos con nivel freático alto , pueden requerirse anclajes y la instalación debe hacerse manteniendo al mínimo los niveles de agua en la excavación. Debe garantizarse que el nivel freático en ningún momento estará por encima del nivel de agua dentro del tanque.
- En terrenos con suelos inestables se debe preparar el terreno de acuerdo a los criterios de un ingeniero calculista.

NOTA IMPORTANTE: El tubo de salida de agua no debe quedar en ningún momento de funcionamiento o de mantenimiento por debajo del nivel freático, pues esto puede hacer flotar el tanque o deformarlo, además el agua freática se devuelve por el tubo de salida y diluye el agua del sistema séptico bajando su eficiencia.



4. DISEÑO DE REDES DE DESAGUES

Las aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas se llevarán a través de colectores hasta cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Dado que, no es posible la inspección detallada de las conexiones de las redes sanitarias porque no se prevé la intervención interna de las edificaciones; de ser posible, se identificarán las zonas de salida de las aguas residuales de cada vivienda y se dispondrá de una caja de inspección para la recolección de las aguas residuales de los sanitarios y una trampa de grasas a donde deben llegar las demás aguas residuales domésticas, estas dos líneas se unen en una caja de inspección antes de la entrada a los pozos sépticos. Durante la obra se realizarán las excavaciones requeridas para precisar la ubicación de las redes sanitarias y se llevarán a cabo las conexiones, a las cajas y la trampa de grasas como se describió anteriormente. En caso de no existir la separación de las aguas de sanitarios y de los demás aparatos, se realizará la conexión obviando la trampa de grasas y se hará la recomendación de separación de las aguas para cuando se intervengan las redes internas de las edificaciones.

Después del pozo séptico y el filtro FAFA las aguas se conducen a los campos de infiltración y se disponen en el terreno.

5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

5.1.1 Análisis hidráulico de colectores

El flujo de aguas residuales en una red de alcantarillado para su recolección y evacuación no es permanente, sin embargo, el dimensionamiento hidráulico de la sección de un colector puede hacerse suponiendo que el flujo en éste es uniforme, esto es válido en especial para colectores de diámetros pequeños.

El procedimiento de cálculo se basó en la suposición que el flujo es uniforme en el conducto y como tal; el análisis se realizó utilizando la fórmula de Manning.

$$v = (\frac{1}{n}) R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

V: Velocidad media en m/s.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

R: Radio Hidráulico en metros.

S: Pendiente del conducto en m/m.

5.1.2 Coeficiente de Rugosidad de Manning

De acuerdo a las características genéricas de forma y material de los conductos, se utiliza un coeficiente de rugosidad de 0.010 para PVC.

5.1.3 Velocidad y pendiente

La pendiente de la tubería sanitaria debe ser tal que garantice su capacidad para evacuar el caudal de diseño, con una velocidad comprendida entre 0.6 m/s y 5 m/s.

5.1.4 Capacidad Hidráulica

En la red de aguas residuales no se podrá exceder una relación de caudales de 0.75.

5.1.5 Cálculo de caudales sanitarios

Para estimar el caudal de diseño de los colectores de aguas residuales, se considera el número de personas y la dotación respectiva de acuerdo con la Tabla 1, considerando un tiempo de permanencia de 24 horas y multiplicando este caudal por un factor de mayoración; como el caudal calculado es inferior a 1.5 L/s, debe adoptarse este valor como caudal de diseño.

5. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO - 2.

6.1 SISTEMA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Para tratar las aguas residuales la alternativa seleccionada consiste en:

- Trampa de grasas prefabricada con volumen de 105 litros o lo que comercialmente más se acerque a este volumen.
- Tanque integrado séptico y FAFA.
- Descarga a campo de infiltración.

Para el dimensionamiento de cada uno de los componentes de esta alternativa, se emplea la siguiente metodología

6.1.1 Trampa de grasas

Por practicidad y facilidad constructiva, se propone que esta estructura sea prefabricada; por lo tanto, el dimensionamiento se centrará en determinar el volumen útil requerido.

Para el dimensionamiento de la trampa de grasas, se determina su volumen partiendo de un tiempo de retención hidráulico que, según el Artículo 172 de la Resolución 0330 de 2017, debe ser mayor de 2.5 minutos; por lo tanto, si se asume un tiempo de 5 minutos, el volumen útil será:

$$Volumen = Qdiseño \times TRH \times 60 = 0.00826 \frac{L}{seg} \times 5\ min \times \frac{60\ seg}{1\ min} = 2.5\ Litros$$

Para un tiempo de retención de 5 minutos se obtiene un volumen de 2.5 litros. Este sería el volumen mínimo que debería tener la trampa de grasas; no obstante, comercialmente las trampas de grasas se consiguen desde un volumen de 105 L, por lo tanto, este será el volumen final de la trampa de grasas.

Finalmente, en cuanto a la geometría de la trampa de grasas, dependerá del proveedor, quien deberá cumplir con lo estipulado en el Artículo 172 y174 de la Resolución 0330 de 2017.

6.1.2 Tanque séptico

A continuación, se presenta el cálculo del volumen que deberá tener el tanque prefabricado y con el cual el contratista deberá buscar en el mercado de proveedores de tanque séptico prefabricados.

El volumen útil total de un tanque séptico, matemáticamente, se define de la siguiente manera:

$$V = N * (C * T + 100 * Lf)$$

Donde:
V = Volumen útil del tanque (L)
N = Número de personas

C = Contribución de aguas residuales domésticas (L/hab.-día).
T = Período de retención, en días (12 a 24 horas).
Lf = Contribución de lodos frescos (L/hab.-año). (Aprox. 70 L/hab.-año; ó 0.19 L/hab.-día).

$$V = 6 * (140 * 0.5 + 100 * 0.192) = 535.2\ Litros$$

6.1.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Se calcula el filtro anaeróbico, así:

Donde:

Q = Caudal de diseño = 535.2 L/día

T = Tasa de infiltración = 3.0 m3 / m2 / día

Asumiendo:

A = Ancho del filtro = 1.0 m

H = Altura del filtro = 0.80 m

$$Afiltro = \frac{Q}{T}$$

$$A = \frac{0.535\ m3/día}{3.0\frac{m3}{día}/m2/día} = 0.18\ m^2$$

Longitud del filtro:

$$Lfiltro = \frac{A}{a}$$

Asumiendo:

a = Ancho del filtro = 1.0 m

H = Altura del filtro = 0.80 m

$$Lfiltro = \frac{0.18\ m2}{1.0\ m} = 0.18\ m$$

El volumen del filtro será:

$$V = a * L * H$$

$$V = 1.0 * 0.18 * 0.8 = 0.144\ m3 = 144\ L$$

La capacidad volumétrica unitaria, será:

$$C = \frac{1 * V}{N}$$

$$C = \frac{1 * 144}{6} = 24 \frac{L}{hab.día}$$

La carga orgánica aplicada al filtro será:

El DBO5 de las aguas residuales domésticas son aproximadamente 280 mg/L y la eficiencia del tanque séptico inicialmente es del 25%, luego el DBO5 aplicado es de:

DBO5 = 280 mg/L * 0.75 = 210 mg/L = 0.21 Kg/m3

La carga orgánica aplicada al filtro será:

Co = DBO5 * C = 0.21 Kg/m3 * 0.535 m3/día = 0.11 Kg/día

La carga orgánica por m3 del volumen del filtro es:

$$Cov = \frac{Co}{V}$$

$$Cov = \frac{0.11\ Kg/día}{0.144\ m3} = 0.76 \frac{Kg}{día - m3}$$

El valor es inferior al parámetro de 0.85 Kg/día-m3.

6. DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO – 3 (ROTOPLAST).

7.1 SISTEMA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Para tratar las aguas residuales la alternativa seleccionada consiste en:

- Trampa de grasas prefabricada con volumen de 105 litros o lo que comercialmente más se acerque a este volumen.
- Tanque integrado séptico y FAFA.
- Descarga a campo de infiltración.

Para el dimensionamiento de cada uno de los componentes de esta alternativa, se emplea la siguiente metodología

7.1.1 Trampa de grasas

Por practicidad y facilidad constructiva, se propone que esta estructura sea prefabricada; por lo tanto, el dimensionamiento se centrará en determinar el volumen útil requerido.

Para el dimensionamiento de la trampa de grasas, se determina su volumen partiendo de un tiempo de retención hidráulico que, según el Artículo 172 de la Resolución 0330 de 2017, debe ser mayor de 2.5 minutos; por lo tanto, si se asume un tiempo de 5 minutos, el volumen útil será:

$$Volumen = Qdiseño \times TRH \times 60 = 0.00826 \frac{L}{seg} \times 5\ min \times \frac{60\ seg}{1\ min} = 2.5\ Litros$$

Para un tiempo de retención de 5 minutos se obtiene un volumen de 2.5 litros. Este sería el volumen mínimo que debería tener la trampa de grasas; no obstante, comercialmente las trampas de grasas se consiguen desde un volumen de 105 L, por lo tanto, este será el volumen final de la trampa de grasas.

Finalmente, en cuanto a la geometría de la trampa de grasas, dependerá del proveedor, quien deberá cumplir con lo estipulado en el Artículo 172 y174 de la Resolución 0330 de 2017.

7.1.2 Tanque séptico

A continuación, se presenta el cálculo del volumen que deberá tener el tanque prefabricado siguiendo el modelo de diseño de Rotoplast, y con el cual el contratista deberá buscar en el mercado de proveedores de tanque séptico prefabricados.

El volumen útil total de un tanque séptico, matemáticamente, se define de la siguiente manera:

$$V = N * D * 2\ (Para\ lecho\ filtrante\ con\ rosetón\ plástico)$$

$$V = N * D * 2{,}2\ (Para\ lecho\ filtrante\ con\ grava\ entre\ 1.0\ y\ 6.0\ cm)$$

Donde:
V = Volumen útil del tanque (L)
N = Número de personas
D = Dotación de aguas residuales domésticas (150 L/hab.-día).
2 = Factor de cálculo.

$$V = 6 * 150 * 2 = 1800\ Litros$$

- **CONCLUSIÓN:** Se toma como alternativa la opción 1, o sea el sistema integrado de 2000 litros.

