

**DISEÑOS DE REDES DE ALCANTARILLADO Y DISEÑO
OPERACIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES CORREGIMIENTO DE NUEVA FLORES
MUNICIPIO DE SAN DIEGO - CESAR**

Presentado por:

**LUIS RAFAEL MURGAS SARMIENTO
JAVIER ANDRÉS PERALTA PALMEZANO**



**Universidad Popular del Cesar
Facultad de Ingeniería y Tecnológicas
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Valledupar-Cesar
2021-03**

**DISEÑOS DE REDES DE ALCANTARILLADO Y DISEÑO
OPERACIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES CORREGIMIENTO DE NUEVA FLORES
MUNICIPIO DE SAN DIEGO - CESAR**

Presentado por:

**LUIS RAFAEL MURGAS SARMIENTO
JAVIER ANDRÉS PERALTA PALMEZANO**

**Trabajo de grado presentado para optar el título de
Ingeniero(a) ambiental y sanitario**

Director:

**Javier Orozco Ospino
Ingeniero Civil**

**Universidad Popular del Cesar
Facultad de Ingeniería y Tecnológicas
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Valledupar-Cesar
2021-03**

TABLA DE CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN.....	7
2.PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
3.JUSTIFICACIÓN.....	9
4.OBJETIVOS	11
4.1.OBJETIVO GENERAL	11
4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
5.MARCO REFERENCIAL	12
5.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
5.2.MARCO TEÓRICO.....	16
5.3.MARCO CONCEPTUAL.....	24
5.4.MARCO CONTEXTUAL	53
5.5.MARCO LEGAL	56
5.5.1.Normatividad relacionada con el servicio público domiciliario de alcantarillado.....	56
5.5.2.Normas relacionadas con el agua como recurso natural renovable	61
5.5.3.Normatividad relacionadas con el servicio público domiciliario de alcantarillado	64
5.5.4.Normas sobre gestión del riesgo.....	66
5.6.MARCO METODOLÓGICO	67
5.6.1.Línea y sublínea de investigación	67
5.6.2.Tipo de investigación.	67
5.6.3.Nivel de investigación.	67
5.6.4.Población de estudio.....	68
5.6.5.Muestra poblacional.....	68
5.6.6.Desarrollo metodológico	68
6.SELECCIÓN DE ATERNATIVAS DE EVACUACIÓN Y TRATAMIENTO.....	70
7.DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO	73
7.1.PARÁMETROS DE DISEÑO.....	73
7.1.1.Período de diseño.....	73
7.1.2.Dotación neta máxima	73
7.1.3.Coeficiente de retorno.....	74
7.1.4.Población servida	74

7.1.5.Caudal de aguas residuales.....	77
7.1.5.1.Contribuciones domésticas (QCD).....	77
7.1.5.2.Caudal de aguas residuales no domésticas (QND).....	79
7.1.5.3.Caudal medio diario	79
7.1.5.4.Cauda máximo horario (QMH)	79
7.1.5.5.Caudal de conexiones erradas (QCE).....	81
7.1.5.6.Cauda de infiltraciones (QIN).....	81
7.2. CAUDAL DE DISEÑO (QD)	82
7.3. DIMENSIONAMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL DE AR.....	83
7.3.1.Diámetro interno real mínimo en las alcantarillas sanitarias	83
7.3.2.Velocidades mínimas y máximas	83
7.3.3.Relación entre profundidades de flujo y diámetro de la tubería	85
7.3.4.Conexiones domiciliarias	85
7.3.5.Profundidades mínimas de colector a cota clave	86
7.4. DISEÑO TOPOGRÁFICO DE REDES	86
8.DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO	99
8.1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS	99
8.1.1.Parámetros básicos de diseño	99
8.1.2.Parámetros que afectan el diseño y la operación.....	99
8.1.3.Suposiciones básicas	101
8.1.4.Parámetros ambientales	102
8.2.SISTEMA DE PRETRATAMIENTO	103
8.2.1. Diseño de rejillas.....	104
8.2.2. Diseño desarenador.....	109
8.2.2.1.Dimensionamiento del desarenador.....	110
8.3.DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR USAB	115
8.3.1. Parámetros de diseño	115
8.3.2. Altura del reactor.....	115
8.3.3. Volumen del reactor.....	116
8.3.3.1. Dimensionamiento de zonas	118
8.3.3.2. Separador de tres fases.....	120
8.3.3.3. Área de interfase gas-líquido	124
8.3.3.4. Separación de productos del reactor.....	127

8.4.SISTEMA DE POSTRATAMIENTO.....	132
8.4.1. Cargas y remoción de contaminantes.	135
8.4.2. Dimensionamiento tanque aireación sedimentación.	136
9.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	140
9.1.CONCLUSIONES.....	140
9.2.RECOMENDACIONES	143
10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS	146

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Proceso de Tratamiento de Agus Residuales	19
Tabla 2. Fases de la investigación	69
Tabla 3. Dotación Neta Máxima	73
Tabla 4. Proyección Población Municipio de San Diego	75
Tabla 5. Proyección población corregimiento de Nueva Flores	76
Tabla 6. Cálculo de caudales para período de proyección	89
Tabla 7. Caudales de diseño por tramo de tubería de aguas residuales	91
Tabla 8. Características geométricas por tramo de tubería de aguas residuales	92
Tabla 9. Cálculo de características hidráulicas por cada tramo de la red de alcantarillado	93
Tabla 10. Cálculos para la zona de cajas colectoras de las viviendas al margen de la carretera	95
Tabla 11. Cálculos para cantidades de obra en redes	96
Tabla 12. Cálculos para cantidades de obra en zonas de cajas	97
Tabla 13. Diseño de tratamiento primario. Dimensionamiento rejillas	108
Tabla 14. Dimensionamiento desarenador, zona transición y canaleta parshall	113
Tabla 15. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas	115
Tabla 16. Diseño reactor UASB	117
Tabla 17. Diseño reactor UASB, longitud reactor, y dimensionamiento separador trifásico	123
Tabla 18. Diseño reactor UASB, área y ancho interfase gas – líquido en el separador	126
Tabla 19. Diseño reactor aeróbico con sedimentación, cargas y remoción	135
Tabla 20. Diseño de reactor aerobio con sedimentación. Dimensionamiento	136
Tabla 21. Diseño de reactor aerobio con sedimentación. Oxigenación	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del corregimiento de Nueva Flores	55
Figura 2. Vista aérea del corregimiento de Nueva Flores	56
Figura 3. Levantamiento topográfico Alcantarillado Nueva Flores	87
Figura 4. Perfiles levantamiento topográfico para alcantarillado Nueva Flores	88
Figura 5. Perfiles del sistema de redes alcantarillado Nueva Flores	92
Figura 6. Diseño hidráulico sistema de alcantarillado Nueva Flores	98
Figura 7. Desarenador, zona de rejilla y compuerta con zona de transición de entrada y canalet Parshall	113
Figura 8. Vista frontal de los dos reactores UASB diseñados y su dimensionamiento	131
Figura 9. Vista lateral de los dos reactores UASB y del reactor aerobio con sedimentación	138
Figura 10. Vista corte transversal y planta del sistema de tratamiento	139

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN – Pág	ECUACIÓN – Pág
Ecuación 1. 77	Ecuación 17. 105
Ecuación 2. 77	Ecuación 18. 110
Ecuación 3. 78	Ecuación 19. 111
Ecuación 4. 78	Ecuación 20. 111
Ecuación 5. 79	Ecuación 21. 116
Ecuación 6. 79	Ecuación 22. 116
Ecuación 7. 81	Ecuación 23. 121
Ecuación 8. 81	Ecuación 24. 121
Ecuación 9. 82	Ecuación 25. 122
Ecuación 10. 82	Ecuación 26. 124
Ecuación 11. 84	Ecuación 27. 125
Ecuación 12. 100	Ecuación 28. 125
Ecuación 13. 101	Ecuación 29. 125
Ecuación 14. 101	Ecuación 30. 129
Ecuación 15. 104	Ecuación 31. 130
Ecuación 16. 105	

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Cartera levantamiento Topográfico
- Anexo 2. Registro Fotográfico visita Nueva Flores
- Anexo 3. Procedimiento Operacional Alcantarillado
- Anexo 4. Procedimiento operacional Tratamiento
- Anexo 5. Memorias de cálculo

1. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento de la población de Nueva Flores, se hace necesario el fortalecimiento de la prestación de los servicios básicos como acueducto y alcantarillado. Por lo anterior, la presente propuesta contempla el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario para poblaciones con menos de 2500 habitantes, enmarcado dentro de los procesos simplificados.

El contenido del actual documento se ha elaborado teniendo en cuenta las disposiciones de La Resolución 0330 del 08 de junio de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio República de Colombia, “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.

En el presente Documento se hace una descripción de la localización, el estudio de población y demanda de agua y diferentes estudios complementarios de los componentes del sistema Alcantarillado, lo que configura una herramienta fundamental del proyecto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La población de Nueva Flores corresponde a uno de los siete (7) corregimientos que conforman el municipio de San Diego; su población es de bajos recursos y dentro de todas las poblaciones corregimentales es la más densa en población infantil y, por ende, la más vulnerable a condiciones sanitarias inapropiadas. En la población de Nueva Flores, el municipio de San Diego ha venido solucionando el problema de vertimientos mediante la construcción de soluciones individuales, tales como pozas sépticas con y sin campos de infiltración. Sin embargo, estas inversiones no han solucionado, al menos en forma continua, los problemas de vertidos en patios y deposiciones en lotes enmontados. En razón a que el suministro de agua para consumo proviene de un aljibe y un pozo profundo, las soluciones dadas conllevan a deterioro de la calidad del agua por las infiltraciones que se presentan.

La no disposición adecuada de las aguas servidas genera problemas ambientales y afecta directamente la salud de los habitantes de la población, con un incremento elevado en los gastos por salud y limitación del desarrollo de la población. Además, existe incumplimiento de la normatividad sanitaria que se traduce en sanciones para el municipio con la obligación de solucionar el problema. Por otro lado, la poca disponibilidad de terreno para el desarrollo urbanístico conlleva a la búsqueda de soluciones de tratamiento que consideren esta limitante.

El problema es de tipo sanitario en el corregimiento de Nueva Flores, municipio de San Diego – Cesar, por la falta de un sistema adecuado para la recolección, transporte, tratamiento y vertido de las aguas residuales de tipo doméstico generadas en las actividades de la población.

3. JUSTIFICACIÓN

Los problemas sanitarios en las pequeñas poblaciones son tan evidentes, que los candidatos a las alcaldías los incluyen en sus programas de gobierno como soluciones prioritarias. Sin embargo, en los Planes de Desarrollo Municipal son incluidos dentro del plan de acción como ítems a gestionar. Gobierno tras gobierno las gestiones para la solución de los problemas sanitarios de las pequeñas poblaciones no avanzan, en parte, por la necesidad de llevar a cabo inversiones en los diseños y, a partir de allí, deja de ser prioritario por la necesidad de construir obras rápidas para mostrar como gestión ante la comunidad.

El municipio, los prestadores de servicio y otras entidades que promuevan y desarrollen inversiones en el sector, deben identificar con claridad los proyectos de infraestructura cuyo desarrollo es prioritario en el municipio con el objeto de satisfacer necesidades propias del sector con una racionalidad en los recursos invertidos de tal manera que se justifique la sostenibilidad del proyecto.

Desde el punto de vista del Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2017, en la priorización de proyectos, se observa que, en dichas poblaciones, con coberturas de agua potable por encima del 95%, se presentan un rezago entre cobertura de alcantarillado sanitario respecto al de agua potable por encima del 10%, lo cual, justifica técnicamente la consideración prioritaria para brindar soluciones a la evacuación y tratamiento de aguas domésticas.

De igual manera la ausencia de colectores de aguas servidas y de drenaje urbano en la población genera problemas de salud pública a la comunidad. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que contar con un servicio de alcantarillado que

cumpla con las normas técnicas, es indispensable para asegurar la igualdad, al tener condiciones ambientales de salubridad óptimas que repercutan en el bienestar de la comunidad. Además, es un parámetro de desarrollo socioeconómico porque valoriza las propiedades de los habitantes de la población y les permite liberar tiempo que pueden utilizar en actividades productivas.

Diseñar el sistema de alcantarillado para la población de Nueva Flores es algo prioritario y es la base para el inicio de nuevas iniciativas de planes de desarrollo por parte de la comunidad o del Estado, ya que, al construir un sistema de alcantarillado sanitario, se mejora de forma considerable la calidad de vida de los usuarios y se les permite liberar recursos para ser utilizados en otras áreas de bienestar comunitario.

Dentro de las alternativas que se han venido considerando en gobiernos anteriores se encuentran las soluciones individuales (pozas sépticas en las viviendas) pero son soluciones temporales porque en la medida en que existen nuevas construcciones se precisa de su construcción familiar lo que conduce a utilizar soluciones inadecuadas alternas. Su vida útil es baja, trayendo como consecuencia deterioro ambiental por la evacuación de aguas domésticas a los patios (de lavaderos principalmente) con la consiguiente proliferación de plagas. Además, es importante anotar que el suministro de agua en la población proviene de aljibe y pozo profundo que son contaminados por este tipo de soluciones.

Por todo lo anterior, se hace necesario el diseño de redes de alcantarillado y sistema de tratamiento de aguas vertidas en el corregimiento de Nueva Flores, como una primera aproximación a la solución definitiva de la problemática. Para el logro del objetivo general se consideró como primer paso un diagnóstico general con un posterior análisis de alternativas de colección y tratamiento de las aguas servidas del corregimiento para, finalmente, presentar el diseño de las alternativas consideradas.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar las redes de alcantarillado sanitario y el sistema operacional de tratamiento de aguas servidas en el corregimiento de Nueva Flores municipio de San Diego – Cesar.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4.1.1 Diagnosticar la situación actual referente a aguas sanitarias.
- 4.1.2 Seleccionar alternativas de evacuación y tratamiento de aguas servidas.
- 4.1.3 Diseñar la red de alcantarillado.
- 4.1.4 Diseñar el sistema operacional de tratamiento de aguas servidas.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- **Flórez Díaz, Wilson Antonio (2019) Desarrolló la investigación titulada “diseño del alcantarillado del barrio San Martín, municipio de Soacha” para optar por el título de especialista en recursos hídricos, en la Universidad Católica de Colombia.**

La finalidad del proyecto es aportar al barrio San Martín, municipio de Soacha, el diseño de redes para aguas sanitarias y pluviales con la normativa que da el ras 2017, ya que el barrio cuenta con un sistema de alcantarillado poco óptimo y el que tiene es artesanal, construido por la comunidad sin especificaciones técnicas. Esta investigación se llevó a cabo en 2 fases, en la primera fase se realizó la recopilación y el análisis de la información (La topografía del barrio, La población actual y proyectada, información obtenida en campo y la información documentada en bibliotecas, páginas web, libros y tesis entre otros). La segunda etapa consiste en el procesamiento de la información (Diseño de Alcantarillado según las especificaciones del RAS 2000).

En este trabajo se encuentran los diseños óptimos del alcantarillado sanitario y pluvial; este con sus correspondientes memorias de cálculos, un presupuesto del proyecto y su correspondiente plan de manejo ambiental, que servirá como guía para la presente investigación. Esta investigación es necesaria debido a que resuelve la problemática que tiene la comunidad del barrio San Martín, con respecto a recolección y transportes de aguas residuales.

- **Barros Marín, Edgar Antonio (2019) Desarrolló la investigación titulada “Diseño de alcantarillado sanitario para la comunidad Sigsipamba – Delég – Cañar”, para optar por el título de ingeniero civil con énfasis en Gerencia de construcciones, en la universidad del Azuay de Ecuador.**

El presente proyecto representa el diseño del alcantarillado sanitario para la comunidad de Sigsipamba – Delég – Cañar, debido a que en algunos sectores no se dispone del servicio, en su lugar, se utilizan fosas sépticas, que pueden contribuir a afecciones a la salud de las personas, por lo que, cuando se construya este proyecto, se mejorará la calidad de vida de los habitantes de esta zona. El diseño contempla 3 etapas: En la primera etapa se realizaron encuestas socioeconómicas, cálculos de diseño, evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales existente. La segunda etapa consta de la realización del diseño de las redes con las respectivas especificaciones establecidas en la normatividad de Ecuador, y en la etapa 3 se realizan, el presupuesto, análisis de precios unitarios y especificaciones técnicas.

Utilizamos este trabajo como guía con el fin de familiarizar algunos conceptos con respecto al tema de diseños de redes de alcantarillado.

- **Bustos Linares, Lina Paola; Carvajal, Marlon Julián (2017). Desarrollaron la investigación titulada “Diagnóstico de la infraestructura del sistema de alcantarillado del municipio de San Francisco (Cundinamarca)”, para optar el título de tecnólogo en Saneamiento ambiental de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia.**

Los autores realizan la investigación con el fin de hacer una inspección meticulosa del sistema de alcantarillado y con la información recopilada verificar si esta cumple con los parámetros establecidos en la norma (RAS 2016). El proyecto se realizó en 3 fases, la primera implica realizar la solicitud de permiso al municipio para la ejecución del proyecto, la segunda fase consiste en la recolección de información secundaria de acuerdo con lo establecido en el RAS 2017, TITULO D, y la tercera fase consistió en recolectar la información en campo. Esta investigación nos brinda

un conocimiento adicional con respecto al funcionamiento de los sistemas de alcantarillado y brindarnos otra perspectiva a la hora de diseñar.

- **Chavez Perez, Estefany Carolina; Silva Proaño, Daniel Alejandro (2016). Desarrollaron la investigación Titulada “Diseño de alcantarillado separado y tratamiento de aguas residuales para el barrio La Merced ubicado en la Ciudad de El Puyo.” Para optar al título de ingeniero civil de la pontificia Universidad Católica del Ecuador.**

Los autores desarrollan el proyecto con el fin de obtener el diseño de una red de alcantarillado sanitario y pluvial basadas en las especificaciones establecidas en la norma ecuatoriana, que tenga un funcionamiento óptimo, para así satisfacer las necesidades del barrio La Merced. Los autores desarrollaron la investigación en 4 fases, en la primera fase realizaron la investigación y trabajo de campo (recolección de datos). En la segunda fase realizaron el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial por separados. En la tercera fase de la investigación realizaron los impactos ambientales generados antes y después de la obra. Y en la 4 fase establecieron los costos y presupuestos del proyecto.

Esta investigación es necesaria debido a que resuelven la problemática de una comunidad con respecto a las aguas residuales y pluviales, y también a que realizan los diseños de redes por separado.

- **Córdoba Cataño, Cristian Fernando (2013), Desarrolló la investigación titulada “diseño de la red de alcantarillado del barrio centro poblado Paso ancho situado en el municipio de Zipaquirá” para optar al título de ingeniero civil de la Universidad Católica de Colombia.**

El proyecto se realiza debido a que el sistema existente no tiene la capacidad suficiente para evacuar los fluidos de una población en crecimiento como lo es esta, y primordialmente para evitar problemas, como grandes estancamientos de aguas y así mejorar las condiciones de vida de la población. El autor desarrolla el proyecto

en dos fases, en la primera se encarga de la recopilación de datos, topográficos, de la población, datos almacenados en libros, en páginas web, otros proyectos entre otros. En la segunda fase el autor realiza el diseño de redes colectoras y establece tratamiento a utilizar y disposición final de las aguas, en esta misma fase incluye conclusiones y recomendaciones.

- **Vargas Maribel, Villegas Rodrigo (2013), desarrollaron la investigación titulada “MODELACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA URBANIZACIÓN PLAZA MADRID MEDIANTE EL SOFTWARE EPA SWMM” proyecto para optar título de Especialista en Recursos Hídricos en la Universidad Católica de Colombia**

El proyecto se lleva a cabo con el fin de llevar a cabo la proyección de proyectos de vivienda como urbanizaciones, a los cuales se les debe ofrecer los servicios básicos como lo son el servicio de agua potable y alcantarillado. Es por eso que la propuesta contempla los modelos Hidráulicos para las redes de Alcantarillado Sanitario y Pluvial de la Urbanización “Plaza Madrid” Ubicada en el Municipio de Madrid. El contenido del documento se ha elaborado teniendo en cuenta las disposiciones del Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS y la utilización de los programas de modelación para los sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial (Epa Smww).

- **Fernández Fernando, Seghezzo Lucas (2015). Cuaderno Tecnológico No. 15 del Instituto de tecnología Industrial (INTI) desarrollaron el cuadernillo como contribución a proyectos de mejora de las economías regionales y desarrollo local, “DISEÑO DE REACTORES UPLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB). Universidad de Valladolid – España.**

El objetivo general de estos talleres fue proveer conocimientos técnicos específicos sobre diseño de reactores UASB al personal del INTI de las provincias de intervención del NOA, y a empresas, profesionales y docentes del sector. El objetivo

particular de este Cuaderno Tecnológico es proporcionar un documento único, de fácil consulta, que resuma los contenidos de los talleres y brinde herramientas concretas para la capacitación en el diseño de reactores UASB

5.2 MARCO TEÓRICO

De acuerdo a la Resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda C. y., 2017) para desarrollar sistemas de alcantarillado de aguas residuales y lluvias el diseñador debe seleccionar el sistema o combinación de sistemas más eficiente para drenar las aguas residuales y lluvias de la población o del área. Los elementos mínimos que se deben tener en cuenta para la selección del tipo de sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias son:

- Las proyecciones de población.
- Los planes de ordenamiento territorial.
- Las poblaciones de saturación y densidades de población.
- Los consumos de agua potable y las curvas de demanda de éste a lo largo del día.
- Las características hidrológicas de la zona.
- Las características de las quebradas, ríos, etc. que puedan ser utilizados como receptores de las descargas de los aliviaderos.
- Los aspectos socioeconómicos y socioculturales del municipio.
- Los aspectos institucionales.
- Infraestructura de redes y vías existentes y proyectadas.
- La capacidad de las redes de alcantarillado existentes ante condiciones iniciales de operación y ante la proyección futura.

Los periodos de planeamiento o diseño consisten en la capacidad del sistema para población futura, la durabilidad de los materiales de construcción y también las

modificaciones futuras. De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 en el Artículo 40 se adoptan para todos los componentes del sistema de alcantarillado un periodo de diseño de 25 años. (Ministerio de Vivienda C. y., 2017) Se determina el caudal del sistema como la sumatoria de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias, se determinará por este método ya que se trata de un sistema combinado.

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. La FAO define aguas residuales como: “Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales”.

Las aguas residuales domésticas son *producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar*, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

Comúnmente se les conoce también como *aguas servidas o aguas negras* y la importancia de su tratamiento y descontaminación radica en la posibilidad de devolver el líquido a afluentes naturales, sin que represente un peligro para los seres vivos que tengan contacto con él, lo que constituye una forma de aprovechamiento del vital líquido, sobre todo en países que presentan escasez del mismo, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales¹ comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. A continuación, sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

Tratamiento primario (asentamiento de sólidos)

Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente)

Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, microfiltración o desinfección)

¹ (Manual de saneamiento, Vivienda, Agua y Desechos. Cap. Tratamiento de Aguas Negras.)

Tabla 1. Proceso de tratamiento de aguas residuales

	SE UTILIZAN	PARA
TRATAMIENTO PRIMARIO	Rejillas cribas Trituradores mecánicos	Remover materia gruesa flotante y en suspensión
	Tanques de flotación o Desarenadores tanques sedimentadores	Remover grasas y aceites
	Desarenadores tanques sedimentadores de acción simple, química Tanque séptico Tanque Imhoff	Remover materias sedimentables
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Bombas y tuberías para irrigación superficial Tanques con arena	Remover y estabilizar materia por dispersión y filtración verdadera
	Lechos de contacto sobre piedra y madera Filtros rociadores Lodos activados	Remover y estabilizar materia en condiciones aerobias y mediante contacto con organismos vivos
PROCESOS COMPLEMENTARIOS	Digestores Calentadores	Acondicionar los lodos
	Precipitadores	
	Lechos de secado Incineradores	Disponer finalmente los lodos

Fuente: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/608/5/98100.pdf>

Los sistemas de alcantarillado² pueden ser de dos tipos: *convencionales* o *no convencionales*. Los sistemas de alcantarillado sanitario han sido ampliamente utilizados, estudiados y estandarizados. Son sistemas con tuberías de grandes diámetros que permiten una gran flexibilidad en la operación del sistema, debida en muchos casos a la incertidumbre en los parámetros que definen el caudal: densidad poblacional y su estimación futura, mantenimiento inadecuado o nulo. *Los sistemas de alcantarillado no convencionales* surgen como una respuesta de saneamiento básico de poblaciones de bajos recursos económicos, son sistemas poco flexibles, que requieren de mayor definición y control de en los parámetros de diseño, en

² Agua, C. N. (2009). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario*. C.P 14210, Tlalpan, México, D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

especial del caudal, mantenimiento intensivo y, en gran medida, de la cultura en la comunidad que acepte y controle el sistema dentro de las limitaciones que éstos pueden tener.

Los sistemas convencionales de alcantarillado se clasifican en:

Alcantarillado separado: es aquel en el cual se independiza la evacuación de aguas residuales y lluvia.

a) Alcantarillado sanitario: sistema diseñado para recolectar exclusivamente las aguas residuales domésticas e industriales.

b) Alcantarillado pluvial: sistema de evacuación de la escorrentía superficial producida por la precipitación.

c) Alcantarillado combinado: conduce simultáneamente las aguas residuales, domésticas e industriales, y las aguas de lluvia.

Los sistemas de alcantarillado no convencionales se clasifican según el tipo de tecnología aplicada y en general se limita a la evacuación de las aguas residuales.

a) Alcantarillado simplificado: un sistema de alcantarillado sanitario simplificado se diseña con los mismos lineamientos de un alcantarillado convencional, pero teniendo en cuenta la posibilidad de reducir diámetros y disminuir distancias entre pozos al disponer de mejores equipos de mantenimiento.

b) Alcantarillado condominiales: Son los alcantarillados que recogen las aguas residuales de un pequeño grupo de viviendas, menor a una hectárea, y las conduce a un sistema de alcantarillado convencional.

c) Alcantarillado sin arrastre de sólidos: Conocidos también como alcantarillados a presión, son sistemas en los cuales se eliminan los sólidos de los efluentes de la

vivienda por medio de un tanque interceptor. El agua es transportada luego a una planta de tratamiento o sistema de alcantarillado convencional a través de tuberías de diámetro de energía uniforme y que, por tanto, pueden trabajar a presión en algunas secciones.

El tipo de alcantarillado que se use depende de las características de tamaño, topografía y condiciones económicas del proyecto.

Sistemas In Situ: existen sistemas basados en la disposición *in situ* de las aguas residuales como son las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. En el tiempo, estos sistemas deben considerarse como sistemas transitorios a sistemas convencionales de recolección, transporte y disposición, a medida que el uso de la tierra tienda a ser urbano. En el Título J del RAS “Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural” se establecen los criterios de diseño de este tipo de sistemas.

Colectores e interceptores. - Son las tuberías que tienen aportación de los colectores y terminan en un emisor, en la planta de tratamiento o en un sistema de reúso.

Por razones de economía, los colectores e interceptores deben ser en lo posible una réplica subterránea del drenaje superficial natural.

Emisores. - Son el conducto que recibe las aguas de uno o varios colectores o interceptores. No recibe ninguna aportación adicional (atarjeas o descargas domiciliarias) en su trayecto y su función es conducir las aguas residuales a la planta de tratamiento o a un sistema de reúso. También se le denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la planta de tratamiento al sitio de descarga.

El escurrimiento debe ser por gravedad, excepto en donde se requiere el bombeo para las siguientes condiciones:

- Elevar las aguas residuales de un conducto profundo a otro más superficial, cuando constructivamente no es económico continuar con las profundidades resultantes.
- Conducir las aguas residuales de una cuenca a otra. Entregar las aguas residuales a una planta de tratamiento o a una estructura determinada de acuerdo a condiciones específicas que así lo requieran.

Emisores a gravedad. - Las aguas residuales de los emisores que trabajan a gravedad generalmente se conducen por ductos cerrados, o bien por estructuras diseñadas especialmente cuando las condiciones de proyecto (gasto, profundidad, etc.) lo ameritan.

Emisores a presión. - Cuando la topografía no permite que el emisor sea a gravedad, en parte o en su totalidad, será necesario recurrir a un emisor a presión. También la localización de la planta de tratamiento o del sitio de vertido, puede obligar a tener un tramo de emisor a bombeo.

En estos casos es necesario construir una estación de bombeo para elevar el caudal de un tramo de emisor a gravedad, a otro tramo que requiera situarse a mayor elevación o bien alcanzar el nivel de aguas máximas extraordinarias del cuerpo receptor, en cuyo caso el tramo de emisor a presión puede ser desde un tramo corto hasta la totalidad del emisor.

El tramo a presión debe ser diseñado hidráulicamente debiendo estudiarse las alternativas necesarias para establecer su localización más adecuada, tipo y clase de tubería, así como las características de la planta de bombeo y la estructura de descarga.

En casos particulares, en los que exista en la localidad zonas sin drenaje natural, se puede utilizar un emisor a presión para transportar el agua residual del punto más bajo de esta zona, a zonas donde existan colectores que drenen por gravedad.

Modelos de configuración para colectores, interceptores y emisores

Para recolectar las aguas residuales de una localidad, se debe seguir un modelo de configuración para el trazo de los colectores, interceptores y emisores el cual fundamentalmente depende de:

- a) La topografía predominante
- b) El trazo de las calles
- c) El o los sitios de vertido
- d) La disponibilidad de terreno para ubicar la planta o plantas de tratamiento.

En todos los casos deben de realizarse los análisis de alternativas que se requieran, tanto para definir los sitios y números de bombeos a proyectar, como el número de plantas de tratamiento y sitios de vertido, con objeto de asegurar el proyecto de la alternativa técnico-económica más adecuada, con lo cual se elaboran los planos generales y de alternativas *Nacional del Agua*)

En lo concerniente a los sistemas de recolección, transporte y manejo de aguas residuales y/o lluvias se enmarca en el concepto moderno de la **integralidad del drenaje urbano**. Este concepto implica la integración en cuanto a cantidad y calidad de agua de todas las partes que conforman el sistema de drenaje o recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias de una ciudad actual. Estas partes son: el sistema de redes de alcantarillado, la(s) planta(s) de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el cuerpo receptor de aguas.

5.3 MARCO CONCEPTUAL

Definiciones. Adóptense las siguientes definiciones para efectos de la interpretación y aplicación del presente anteproyecto y proyecto:

Acometida de alcantarillado. Derivación que parte de la caja de inspección domiciliaria y, llega hasta la red secundaria de alcantarillado o al colector.

Aguas de infiltración Aguas provenientes del subsuelo, indeseables para el sistema separado y que penetran en el alcantarillado.

Aguas lluvias Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

Aguas residuales Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, locales comerciales, instituciones, fábricas o industrias-

Aguas combinadas. Aguas compuestas por aguas residuales y aguas pluviales.

Aguas lluvias. Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

Aguas Residuales Domésticas, (ARD). Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

- 1) Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
- 2) Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

Aguas Residuales no Domésticas, (ARnD). Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas, (ARD).

Aeración. Proceso en el que se produce paso del aire a través del agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.

Alcalinidad. Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).

Alcantarillado condominial. La característica principal de los alcantarillados condominiales es que se transfiere para el interior de la cuadra el alineamiento de los ramales de la red, permitiendo así una reducción considerable en la tubería necesaria. Hay tres modalidades de ramal condominial: ramal de fondo del lote, ramal del jardín y ramal de andén. La participación comunitaria es la base del buen funcionamiento del sistema condominial, constituyéndose en el elemento fundamental de la metodología de implantación de este tipo de solución, mediante la incorporación de la población para la solución colectiva de los problemas de saneamiento.

Alcantarillado convencional. Los sistemas convencionales se dividen en alcantarillados separados y alcantarillados combinados.

Alcantarillado de aguas combinadas o combinado. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas lluvias o pluvial. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas residuales o sanitario. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales domésticas y/o industriales.

Alcantarillado no convencional. Alcantarillado alternativo al alcantarillado convencional de aguas residuales, basados en consideraciones de diseño adicionales y en una mejor tecnología disponible para su operación y mantenimiento.

Alcantarillado simplificado. Alcantarillado que tiene en cuenta para su diseño y construcción consideraciones que permiten reducir el diámetro de las tuberías tales como la disponibilidad de mejores equipos para su mantenimiento, que permiten reducir el número de cámaras de inspección o sustituir por estructuras más económicas.

Alcantarillado sin arrastre de sólidos (ASAS). Sistema de alcantarillado sanitario de pequeño diámetro debido a que las aguas residuales se decantan o sedimentan antes de ser conducidas a las redes con el fin de retener la parte sólida; la parte líquida fluye hacia los colectores. El proceso de sedimentación de sólidos se realiza en tanques sépticos con tanques interceptores de una sola cámara y pueden recibir las aguas residuales de una o varias viviendas.

Aliviadero. Estructura diseñada en sistemas combinados, con el propósito de separar los caudales de aguas lluvias de los caudales de aguas residuales y conducirlos a un sistema de drenaje de agua lluvia o a una corriente natural cercana.

Amenaza. Peligro latente asociado con la potencial ocurrencia de un evento de origen natural o antrópico que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en un sistema. Se expresa matemáticamente como la probabilidad de ocurrencia de un evento de una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición definido.

Ampliación: Se denomina Ampliación de un sistema al conjunto de acciones y obras requeridas para aumentar su capacidad en una misma área de cobertura.

Análisis de vulnerabilidad. Es el estudio que permite evaluar los riesgos a que están expuestos los distintos componentes de un sistema de suministro de agua.

Ancho de inundación "T". Longitud de vía medida en sentido perpendicular desde el borde del andén hacia el centro de la vía, la cual es ocupada por la escorrentía superficial.

Área tributaria. Superficie que drena hacia un tramo o punto determinado.

Biogás. Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable de las basuras, cuyo componente principal es el metano.

Biosólidos. Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.

Borde libre. Espacio comprendido entre el nivel máximo esperado del agua fijado por el sistema de rebose y la altura total de la estructura de almacenamiento.

Caja de inspección domiciliar. Caja ubicada en el límite de la red pública y privada que recoge las aguas residuales, lluvias o combinadas provenientes de un inmueble.

Calibración. Consiste en la modificación de parámetros del modelo matemático de la red. Esta modificación se realiza con el fin de mejorar la semejanza entre el modelo hidráulico y la red existente en campo. La calibración proporciona las variables óptimas de tal forma que mejoren el modelo tanto como sea posible.

Cámara de caída. Estructura empleada en pendientes empinadas para controlar la velocidad del flujo en los conductos.

Cámara o pozo de inspección. Estructura, de forma usualmente cilíndrica, localizada al inicio o dentro de un tramo de alcantarillado que permite acceso desde la superficie del terreno para inspección o mantenimiento de los conductos.

Campos de infiltración. Consiste en una serie de trincheras angostas y relativamente superficiales rellenas con un medio poroso (normalmente grava).

Canal. Cauce artificial, revestido o no, que se construye para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce natural. Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.

Cañuela. parte inferior al interior de una estructura de conexión o cámara (o pozo) de inspección, cuya forma orienta el flujo,

Caracterización de las aguas residuales. Determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

Carga orgánica. Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Carga superficial. Caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento ($m^3/(m^2 \text{ día})$, $kg \text{ DBO}/(ha \text{ día})$).

Caudal. Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.

Caudal de diseño. Caudal estimado al final del periodo de diseño con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Caudal máximo diario (QMD). Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

Caudal máximo horario (QMH). Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

Caudal medio diario. Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año,

Cloración. Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

Coagulación. Aglutinación de las partículas coloidales suspendidas presentes en el agua, por efecto de cambio de carga eléctrica suscitado por la adición de coagulantes.

Coagulantes. Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Coeficiente de consumo máximo diario (K1). Número adimensional que se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario de un sistema de acueducto, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año.

Coeficiente de consumo máximo horario (K2). Número adimensional que se obtiene de la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio.

Coeficiente de retorno. Relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales y el caudal medio de agua que consume la población.

Colector. Es un conducto que recoge las aguas residuales y/o lluvias, provenientes de las descargas domiciliarias.

Colector principal o matriz. Conducto sin conexiones domiciliarias directas que recibe los caudales de los tramos secundarios.

Coliformes fecales. Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación fecal del agua.

Color. Característica del agua debida a la presencia de partículas coloidales y material suspendido.

Conductividad. Expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica.

Conducto. Estructura hidráulica destinada al transporte de agua.

Conexión domiciliaria. Ver definiciones de acometida de acueducto y acometida de alcantarillado.

Conexión errada de alcantarillado. Todo empalme de una acometida de aguas residuales sobre la red de alcantarillado pluvial o todo empalme de una acometida de aguas lluvias sobre la red de alcantarillado sanitario.

Consumo. cantidad de agua utilizada por un usuario en un período determinado.

Cota batea. Nivel del punto más bajo de la sección transversal interna de una tubería o colector.

Cota clave. Nivel del punto más alto de la sección transversal externa de una tubería o colector.

Cuenca hidrográfica. Superficie geográfica que drena hacia un punto determinado.

Cuerpo receptor. Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.

Curva IDF. Curvas que sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desarenador. Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Deshidratación de lodos. Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta sólida.

Desinfección. Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

Desinfectante. Agente físico, como calor o radiación, o químico que destruye, neutraliza, o inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos.

Desinfectante residual. Concentración de desinfectante existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

Diámetro. Diámetro real interno de conductos circulares.

Digestión. Degradación, mediante microorganismos aeróbicos o anaeróbicos, de materia orgánica previamente biofloculada, hasta convertirla en biosólidos.

Dióxido de carbono (C02). Gas incoloro, inodoro y no tóxico que produce ácido carbónico cuando está disuelto en agua. Se produce durante la degradación térmica y descomposición (microbial) por microbios de los residuos sólidos."

Disposición final. Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

Dosificación. Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

Dosificador (en potabilización). Es un dispositivo mecánico o hidráulico diseñado para introducir una sustancia química al agua.

Dosis óptima. Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

Dotación bruta. Es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas 'de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto.

Dotación neta. Es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto

Dureza (en el agua). Característica del agua debida a la presencia de varias sales.

Edad del Lodo. Tiempo medio que una partícula en suspensión permanece bajo aireación. Se le conoce también como tiempo medio de residencia celular y también como tiempo medio de detención celular.

Eficiencia de tratamiento o remoción. Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente. Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Efluente final. Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Emergencia. Evento repentino e imprevisto que se presenta en un sistema de suministro de agua para consumo humano, como consecuencia de fallas técnicas, de operación, de diseño, de control o estructurales, que pueden ser naturales, accidentales o provocadas que alteran su operación normal o la calidad del agua, y que obliguen a adoptar medidas inmediatas para minimizar las consecuencias.

Emisario final. Colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una localidad hasta el sitio de vertimiento o a las plantas de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto.

Emisario submarino: es un sistema técnico de transporte y disposición al medio marino, en el que sus componentes en conjunto cumplen el objeto de realizar un vertimiento de aguas residuales, hasta una localización, profundidad y distancia de la costa, en donde la hidrodinámica genera un tratamiento en forma natural sobre las descargas biodegradables, mitigando la generación de daños sanitarios y/o ecológicos a los ecosistemas marinos y terrestres, a las poblaciones costeras circundantes, a las playas de recreación pública y a la industria pesquera.

Energías alternativas. Son aquellas técnicas y mecanismos que intentan sustituir a las fuentes tradicionales de energía.

Ensayo o test de jarras. Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Escorrentía. Volumen que llega a la corriente poco después de comenzada la lluvia.

Estación de bombeo. Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas

Estanqueidad. Propiedad de una red o tramo de alcantarillado de no permitir el flujo de agua desde y hacia el exterior, a través de las paredes de las tuberías, uniones y accesorios.

Estructura de conexión. Estructura construida para la unión de uno o más tramos de redes de alcantarillado, con el fin de permitir cambios de alineamiento horizontal y vertical en el sistema, y en muchos casos la inspección y limpieza de la red.

Estructuras complementarias (alcantarillado). Son todas aquellas estructuras especiales diferentes a las tuberías fluyendo parcialmente llenas que hacen parte de un sistema de alcantarillado.

Estructuras de disipación de energía. Estructuras construidas para minimizar el riesgo de erosión en los sitios de descarga y en algunos puntos localizados de los sistemas de alcantarillado y drenaje urbano, cuyo principio de operación es generar una pérdida de energía en un espacio controlado.

Estructuras de entrega. Estructuras utilizadas para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo de agua receptor de aguas lluvias o residuales.

Expansión: La expansión es el conjunto de acciones encaminadas a implementar obras cuyo propósito es aumentar el área de cobertura de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.

Factor de dilución (alcantarillado). Relación entre el caudal a partir del cual el aliviadero comienza a derivar agua y el caudal medio diario de aguas residuales.

Factor de mayoración (alcantarillado). Factor que tienen en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población.

Filtración. Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA). Los filtros anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA), son tanques enterrados que pueden construirse como una cámara anexa al final del pozo séptico; también, puede construirse como una cámara independiente. Igualmente, en los sistemas prefabricados podrán venir integrado al pozo séptico o adquirirse como un tanque independiente que se conecta al efluente del pozo séptico.

Filtro anaerobio. Consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.

Filtro percolador. Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de 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. Este es un sistema de tratamiento aerobio."

Floculación. Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Flujo gradualmente variado. Flujo permanente cuya profundidad y velocidad varían de manera gradual a lo largo de la longitud del canal.

Fuente de abastecimiento de agua. Depósito o curso de aguas superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.

Georreferenciar (Referenciación). Acción de ubicar uno o varios puntos a partir de un grupo de puntos semejantes previamente localizados.

Gradiente de velocidad medio. Raíz cuadrada de la potencia total disipada en la unidad de volumen de una estructura hidráulica dividida por la viscosidad absoluta del agua.

Hidrograma. Gráfica que representa la variación del caudal con el tiempo, en un sitio determinado, en la cual se describe usualmente la respuesta hidrológica de un área de drenaje a un evento de precipitación.

Índice de agua no contabilizada. Indicador porcentual que relaciona el volumen total de agua que se suministra a las redes con el volumen total de agua que se factura a los suscriptores de éstas, en un período determinado.

Infiltración (Alcantarillado). Proceso por el cual el agua penetra en el suelo y/o en las estructuras que hacen parte de un sistema de alcantarillado.

Instalación interna. Conjunto de tuberías y accesorios que recogen y conducen las aguas residuales y/o lluvias de las edificaciones hasta la caja de inspección domiciliar.

Intensidad de la lluvia. Cantidad de agua lluvia caída sobre una superficie durante un tiempo determinado.

Interceptor. Conducto cerrado que recibe las afluencias de los colectores, y usualmente se construye paralelamente al cuerpo receptor principal, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a éste, y llevar las aguas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Laguna aerobia. Término a veces utilizado para significar "laguna de alta producción de biomasa". Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

Laguna aireada. Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suple el abastecimiento de oxígeno por aeración mecánica o difusión de aire comprimido. Es una simplificación del proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas 1. Laguna aireada de mezcla completa, 2. Laguna aireada facultativa, 3. Laguna facultativa con agitación mecánica y 4. Laguna de oxidación aireada.

Laguna anaerobia. Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Laguna de estabilización. Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes).

Laguna de maduración. Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada — facultativa o primaria secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana.

Laguna facultativa. Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Lavado de tuberías. Acción de lavar internamente las tuberías de un sistema de acueducto o alcantarillado con el fin de remover partículas depositadas y biopelículas

Lecho de filtración. Medio constituido por material granular poroso por el que se hace percolar un flujo.

Lechos de secado. Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

Línea de energía. Línea o elevación obtenida como la suma de la altura piezométrica de presión, la altura piezométrica de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

Lodo. Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de los procesos de potabilización o del tratamiento de aguas residuales municipales.

Lodos activados. Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

Macromoléculas. Moléculas de gran tamaño, generalmente de muy elevado peso molecular.

MAGNA-SIRGAS. Marco geocéntrico nacional de referencia - Sistema de referencia geocéntrico para las Américas

Mantenimiento. Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

Mantenimiento correctivo. Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.

Mantenimiento preventivo. Conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas.

Mapa de riesgo de calidad del agua. Instrumento que define las acciones de inspección, vigilancia y control del riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes superficiales o subterráneas de una determinada región, que puedan generar riesgos graves a la salud humana si no son adecuadamente tratadas, independientemente de si provienen de una contaminación por eventos naturales o antrópicos.

Material coloidal. Sustancia que se dispersa lentamente en un líquido.

Medición. Sistema destinado a registrar o totalizar la cantidad de agua transportada por un conducto

Metales pesados. Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a $5,0 \text{ g/cm}^3$ por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.

Mezcla lenta. Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos.

Mezcla rápida. Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

Micromedición. Sistema de medición de volumen de agua, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado período de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto.

Microzonificación sísmica. Zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo.

Modelo hidráulico. Formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos.

Modelo matemático. Modelo científico que emplea formulación matemática para la representación abstracta de los sistemas.

Monitoreo. Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas en un sitio y período determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control.

Muestra compuesta. Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el período de muestras.

Muestra puntual. Es la muestra individual representativa en un determinado momento.

Nivel freático. Nivel del agua subterránea en un acuífero libre o no confinado (llamado también tabla de agua), corresponde a la superficie de la zona saturada, la cual está a presión atmosférica.

Norma técnica colombiana. Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización de Colombia. (Decreto 1595 de 2015)

NPSH (del inglés Net Positive Suction Head). Presión necesaria para mover un fluido desde la cámara de succión hasta el impulsor de la bomba.

Organismos patógenos. Microorganismos que pueden causar enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales y plantas.

Ozonización. Aplicación de ozono al agua. El ozonizador es el dispositivo empleado para hacer este proceso.

Paramento. Es la línea que determina el límite de construcción permitida en una obra.

Parámetros de control de un proceso. Criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo.

Parámetros de diseño. Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los componentes de los sistemas.

Paso lateral. Conocido comúnmente como "bypass" es una derivación paralela de una red de tuberías que conecta un punto aguas arriba con un punto aguas abajo de la red, con el fin de tener redundancia en el sistema, en caso de que se realicen operaciones de mantenimiento o emergencia.

Patrón de consumo. Conjunto de factores multiplicadores que representan la variación horaria de la demanda en una red de distribución. Tiene como característica que es unitaria, es decir, el promedio de los factores es igual a 1.

Pendiente. Inclinação longitudinal de una tubería, canal o conducto.

Pérdidas. Diferencia entre el volumen de agua que entra a un sistema de acueducto y aquel que sale o es facturado, dependiendo del sistema.

Pérdidas comerciales. Aquellas debidas a volúmenes consumidos no facturados, volúmenes no contabilizados por defectos en los micromedidores, consumos a través de conexiones clandestinas, etc.

Pérdidas menores. Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

Pérdidas por fricción. Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

Pérdidas técnicas. Es la suma de las pérdidas técnicas en la red de distribución más las pérdidas en la conducción, más las pérdidas en los tanques de almacenamiento y compensación.

Pérdidas técnicas en la red de distribución. Corresponden a las fugas de agua tanto detectables como no detectables.

Perfil hidráulico (en tratamiento). Es el esquema hidráulico de variaciones de niveles de agua del tren de tratamiento a través de las estructuras de los procesos unitarios del sistema.

Período de diseño. Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

Período de retorno. Número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.

Permeabilidad. Propiedad que tiene los cuerpos de permitir el paso de un fluido a través de él.

Persona prestadora del servicio. Son aquellas personas prestadoras que, acorde con la Ley 142 de 1994 o aquella que la modifique, adicione o sustituya, prestan el servicio de un sistema.

pH. Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

Plan de ordenamiento territorial. Conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Conjunto de obras, instalaciones, procesos y operaciones para tratar las aguas residuales.

Planta piloto (para diseño de PTAR). Planta de tratamiento de agua residual a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

Planta piloto (para potabilización). Modelo para simular operaciones, procesos y condiciones hidráulicas de la planta de tratamiento, utilizando para este efecto el agua de la fuente de abastecimiento.

Población de diseño. Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

Población de saturación. Población, definida por el plan de ordenamiento territorial (POT), como la máxima permitida y posible en el tiempo, en una zona determinada de un municipio.

Población equivalente. Población estimada al relacionar la carga total o volumen total de un parámetro en un efluente (DBO, sólidos en suspensión, caudal) con el correspondiente aporte per cápita (kgDBO/hab/día), L/hab/día.

Pozo de succión. Tanque o estructura de donde el agua es extraída por bombeo.

Pozo piezométrico (aguas subterráneas). Pozo a través del cual es posible conocer el nivel de agua en un acuífero.

Precipitación. Cantidad de agua lluvia caída en una superficie durante un tiempo determinado.

Prediseño: Corresponde al diseño conceptual del proyecto, en el que se obtiene una aproximación de las principales características de los sistemas y de su funcionamiento, así como las alternativas propuestas para el diseño final.

Presión de trabajo. Es la presión nominal a la cual la tubería debería trabajar normalmente durante su vida útil.

Presión dinámica. Presión que se presenta en un conducto con el paso de agua a través de él.

Presión estática. Presión en un conducto cuando no hay flujo a través de él

Presión hidrostática. Presión ejercida sobre un cuerpo debida al peso del agua.

Presión nominal. Presión interna máxima a la cual puede estar sometida una tubería, considerando un factor de seguridad, y que es dada por el fabricante según las normas técnicas correspondientes.

Pretratamiento. Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final.

Proceso biológico. Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

Profundidad del tramo. Diferencia de nivel entre la superficie del terreno o la rasante de la calle y la cota clave del colector.

Protocolo de pruebas. Serie de pruebas y mediciones de campo con el fin de comparar el comportamiento hidráulico de lo establecido en el diseño con lo construido en campo.

Punto de muestreo. Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

Radiación ultravioleta. Radiación electromagnética que está presente en el espectro natural de la radiación solar.

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB). Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Rebose. Estructura cuyo fin es captar y desviar el exceso de caudal de agua que transporta o almacena un sistema de acueducto.

Recubrimiento. Aplicación sobre la superficie externa de un material con el fin de protegerlo contra la corrosión, erosión, etc.

Red de alcantarillado. Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza.

Red de distribución. Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

Red Matriz. Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción,

planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red matriz mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento adecuado de todo el sistema, y generalmente, no reparte en ruta.

Rehabilitación: La rehabilitación es la implementación de proyectos enfocados a la recuperación de la infraestructura de servicio existente, cuyo estado no permite una operación adecuada del sistema, a fin de mejorarla operativamente y reestablecerle las condiciones de capacidad, calidad y continuidad, para las cuales fueron concebidas y construidas. En dichas actividades no necesariamente su intervención considera el cambio total de la infraestructura.

Rejilla. Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

Reposición: La reposición de una infraestructura tiene por objeto remplazar un activo que por sus condiciones ya no es apto para cumplir a cabalidad con su función, bien porque agotó su vida útil o porque no es eficiente en su operación y las condiciones de tecnología evidencian que el activo no es eficiente para la prestación del servicio público domiciliario de que se trate.

Revestimiento. Aplicación sobre la superficie interna o externa de un material con el fin de protegerlo contra la corrosión, erosión, etc.

Riesgo. Potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema.

Riesgo sanitario. Es el riesgo de transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades de origen hídrico al hombre y animales o alterar el normal desempeño de las labores dentro del hogar o la industria. Es el resultado de comparar la vulnerabilidad de la población frente a una amenaza o factores de riesgo y su nivel depende del grado de contaminación de la fuente de abastecimiento.

Sectorización. Es la división de una red de distribución en dos o más sectores hidráulicos, en la que cada sector con puntos definidos de alimentación o entrada de agua, opera independientemente, garantizando la prestación óptima del servicio a los usuarios comprendidos dentro de cada sector.

Sedimentación. Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

Sifón invertido. Estructura compuesta por una o más tuberías que funcionan a presión. Se utilizan cuando es necesario pasar las tuberías por debajo de obstáculos inevitables.

Sistema de acueducto. Conjunto de elementos y estructuras cuya función es la captación de agua, el tratamiento, el transporte, almacenamiento y entrega al usuario final, de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión.

Sistema de alcantarillado. Conjunto de elementos y estructuras cuya función es la recolección, conducción y evacuación hacia las plantas de tratamiento y/o cuerpos receptores de agua, de las aguas residuales y/o lluvias producidas en una ciudad o municipio. También se incluyen las obras requeridas para el transporte, tratamiento y disposición final de estas aguas.

Sistema de control. Conjunto de procesos, procedimientos y acciones coordinadas, las cuales permiten mantener variables de un proceso dentro de un rango de operación, tomando acciones a partir de comparar el valor deseado con el valor requerido. Un sistema de control está compuesto usualmente por los siguientes elementos: Instrumentación de medición-transductor, transmisor, controlador, actuador y sistema de registro de control calidad del agua.

Sistema de información geográfico (SIG). Sistema de información que permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo con la información disponible dentro del proyecto. Determina de una

manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rugosidad, pérdidas menores, edad, diámetro, o caudal según se requiera. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.

Sistema de potabilización de agua. Conjunto de procesos y operaciones unitarios para purificar el agua y que tienen por objeto hacerla apta para el consumo humano.

Sistema de referencia. Modelo geométrico conocido como elipsoide de revolución materializado en un marco de referencia

Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Son el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así sobredimensionamientos o ampliaciones innecesarias en el sistema. La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana.

Sobrepresión. Efecto del golpe de ariete, causado por el aumento repentino y en gran magnitud de presión debido a la apertura de una válvula, al apagado de una bomba, etc.

Socavación. Perturbación y afectación de una zona (canal, río, estructura) por efecto del paso de agua a grandes velocidades.

Sólidos disueltos (SD). Mezcla de un sólido (solute) en un líquido solvente en forma homogénea.

Sólidos no sedimentables. Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

Sólidos sedimentables (Ssed). Materia sólida que sedimenta en un período de 1 hora.

Sólidos suspendidos (SS). Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución, y que no se consideran sólidos disueltos.

Sólidos totales (ST). Son sustancias contenidas en el agua que toman esta forma luego de la evaporación del agua a los 103 a 105 0C.

Sólidos volátiles (SV). Son la porción de los sólidos contenidos en el agua que se volatiliza a temperaturas entre 450 y 550 0C, y corresponden en su mayor parte a la fracción orgánica.

Sostenibilidad. La sostenibilidad se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovabilidad del mismo. La sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

Subpresión. Efecto del golpe de ariete, causado por la disminución repentina y en gran magnitud de la presión debido al cierre de una válvula, dejando la tubería vacía.

Sumergencia. Acción de estar inmerso en agua relacionada con sistemas de tubería-bomba.

Sumidero. Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión de los alcantarillados combinados o de lluvias.

Sustancias complejas (aplicado a lodos de plantas potabilizadoras). Son aquellas que tienen contenido de metales pesados o componentes de carácter tóxico para los seres vivos que provocan un efecto de bioacumulación en la cadena trófica.

Tanque de almacenamiento. Depósito de agua en un sistema de acueducto, cuya función es suplir las necesidades de demanda en los momentos picos, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo, para poder suministrar sin problemas en las máximas demandas.

Tanque de compensación. Depósito de agua en un sistema de acueducto con capacidad de almacenamiento muy baja, cuya función es actuar como un regulador de presión o quiebre de presión en sistemas de bombeo.

Tanque de succión. Tanque de almacenamiento desde el cual una bomba succiona el agua que impulsa hacia otro punto de una red.

Tanque Imhoff. Tanque compuesto de tres cámaras en el cual se realizan los procesos de sedimentación y digestión.

Tanque séptico. Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas; combina la sedimentación y la digestión. Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descargan normalmente en una instalación de tratamiento.

Tasa de aplicación superficial (carga superficial). Relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$).

Tasa de carga volumétrica. Corresponde a los kilogramos de sólidos volátiles adicionados por día y por metro cúbico de capacidad de digestor.

Tecnologías avanzadas en tratamiento de aguas residuales. Proceso de tratamiento físico-químico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al de tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros, como remoción de sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes.

Tecnologías sin zanja. Técnicas de instalación y renovación de tuberías sin apertura de zanjas que afecten la superficie del terreno.

Telemetría. Conjunto de datos, normalmente mediciones, transmitidos desde un sensor remoto a un receptor

Tiempo de concentración. Tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de salida considerado. En alcantarillados es la suma del tiempo de entrada y de recorrido.

Tiempo de retención hidráulica. Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Topología. Es toda aquella información que define el recorrido y la distribución de una red de tuberías.

Tramo. Colector comprendido entre dos estructuras de conexión.

Tamos iniciales. Tramos de colectores domiciliarios que dan comienzo al sistema de alcantarillado.

Tratamiento anaerobio. Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento biológico. Procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Tratamiento en el sitio de origen. Los sistemas de tratamiento en el sitio son aquellos que se utilizan en lugares aislados, donde no existen redes de alcantarillado o no es posible construir un sistema integrado de alcantarillado, o donde se requiere remover la cantidad de sólidos suspendidos antes de verter el agua residual al sistema de alcantarillado.

Tratamiento primario. Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El

efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

Tratamiento secundario. Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

Tratamiento terciario. Remoción de sólidos suspendidos residuales (después del tratamiento secundario), usualmente por un medio de filtración granular o microfiltración. Se incluye la desinfección. Eliminación de compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno, fósforo) y remoción de materiales remanentes disueltos y en suspensión después de un tratamiento biológico, cuando sea necesario para la reutilización de agua.

Tubería o tubos. Conducto prefabricado, o construido en sitio, de materiales cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general su sección es circular.

Tubería de impulsión. Tubería de salida de un equipo de bombeo.

Tubería de succión. Tubería de entrada a un equipo de bombeo.

Turbiedad. Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

Unión. Accesorio cuya función es conectar tuberías y accesorios entre sí, como parte de una red de distribución de agua potable.

Válvula. Accesorio cuyo objetivo es regular y controlar el caudal y la presión de agua en una red de conducción y/o distribución de agua potable.

Vertimiento. Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

Vertedero tipo sutro. Conocido también como vertedero proporcional, corresponde a una estructura de salida que permite el control de la velocidad ante las variaciones de caudal a la entrada.

Vida útil. Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento.

Vulnerabilidad. Predisposición intrínseca de un sistema de ser afectado o de ser susceptible a sufrir daños o pérdida de su función, como resultado de la ocurrencia de un evento que caracteriza una amenaza.

Zona de presión de la red de distribución. Es una de las partes en que se divide la red de acueducto para evitar que las presiones mínimas, dinámica y máxima estática sobrepasen los límites.

5.4 MARCO CONTEXTUAL (Localización geográfica)

San Diego es un municipio de Colombia, situado en el nordeste del país en el departamento de Cesar. La cabecera del municipio está situada a 20 km de la capital departamental, Valledupar, y hace parte del área metropolitana de la ciudad. El área municipal es de 614 km² y limita por el norte con Valledupar y La Paz, por el este y el sur con La Paz y por el oeste con Valledupar. Hacen parte del municipio los corregimientos de: Media Luna, Tocaimo, El Rincón, Los Tupes, Las Pitillas, Los Brasiles y Nueva Flores. Es cabecera de círculo notarial con una notaría, perteneciente al círculo principal de registro y al distrito judicial de Valledupar; el Municipio de San Diego corresponde a la circunscripción electoral del Cesar. Al 1º de enero de 1995 tenía registrados 2.643 predios urbanos y 555 rurales.

El territorio municipal es en su mayoría plano y hacia el este presenta terreno ondulado con alturas que alcanzan los 500 m sobre el nivel del mar, las cuales

corresponden a las estribaciones de la serranía de los Motilones o Perijá. Su río más importante, es el río Chiriaimo. Sus tierras están comprendidas en los pisos térmicos cálidos y templado.

El corregimiento de Nueva Flores se localiza hacia el sur de la cabecera municipal sobre la vía nacional que comunica a Valledupar con el municipio de Codazzi a una distancia de 20 km. El número de viviendas registras es de 170 para una población aproximada de 680 habitantes. El suministro de agua proviene de pozo profundo la cual es distribuida a la población desde un tanque elevado de 15 m de altura y red en pvc 2".

Toda la población tiene suministro de agua por red y la frecuencia de suministro es de dos veces diarias, 4 horas por la mañana y 3 por la tarde, de acuerdo con información del operador de los sistemas en el corregimiento.

En las siguientes figuras se muestran la localización en el departamento y una panorámica aérea del centro poblado.

Figura 1. Localización del municipio de San Diego

Fuente: google maps



Figura 2. Vista aérea del Corregimiento Nueva Flores

Fuente: google maps



5.5 MARCO LEGAL

5.5.1 Normatividad relacionada con el servicio público domiciliario de alcantarillado

CARTA POLÍTICA DE 1991

Los artículos 8, 79 y 80 de la Constitución Política señalan que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Así mismo, el artículo 8 y el numeral 8 del artículo 95 de la Constitución Política disponen que es obligación de los particulares proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Igualmente prevé la intervención del Estado en las actividades económicas – artículos 333 y 334.

El artículo 365 determina que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado y el deber del Estado de asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios. Si por razones de soberanía o de interés social, el Estado, mediante ley aprobada por la mayoría de los miembros de una y otra cámara, por iniciativa del Gobierno decide reservarse determinadas actividades estratégicas o servicios públicos, deberá indemnizar previa y plenamente a las personas que, en virtud de dicha ley, queden privadas del ejercicio de una actividad lícita.

El Artículo 367 establece que la ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos.

Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación.

La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas.

El artículo 368 consagra la facultad de la Nación, los departamentos, los distritos, los municipios y las entidades descentralizadas para conceder subsidios, en sus respectivos presupuestos, para que las personas de menores ingresos puedan

pagar las tarifas de los servicios públicos domiciliarios que cubran sus necesidades básicas.

El artículo 370 consagra la facultad del Presidente de la República de señalar, con sujeción a la ley, las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios y ejercer por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el control, la inspección y vigilancia de las entidades que los presten.

A continuación, se presenta una relación de las disposiciones más relevantes aplicables al sector de servicios públicos domiciliarios en especial con respecto al servicio público domiciliario de alcantarillado.

Norma	Titulo
Decreto-ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente"
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones

Ley 689 de 2001	Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 1176 de 2007	Por la cual se desarrollan los artículos 356 y 357 de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones.
Norma	Titulo
Decreto-ley 028 de 2008	Por medio del cual se define la estrategia de monitoreo, seguimiento y control integral al gasto que se realice con recursos del Sistema General de Participaciones
Decreto 1541 de 1978 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto 155 de 2004 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 3100/2003 y su modificatorio el Decreto 3440 de 2004	Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Resolución 240 de 2004	Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización del agua

Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la parte XIII, Título 2, capítulo III del Decreto ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas parcialmente el numeral 12 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1443 de 2004 y sus modificaciones	Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de vertimientos.
Decreto 2820 de 2010	Por el cual se reglamenta el Título X de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales
Decreto 1900 de 2006	Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se toman otras determinaciones.
Resolución 372 de 1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto 1323 de 2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico, SIRH.
Decreto 1324 de 2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la parte III - Libro I - del Decreto

	2811 de 1974 en cuanto a Usos del Agua y Residuos Líquidos
Decreto 3930 de 2010 y su modificatorio el Decreto 4728 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones – Modifica parcialmente el Decreto 1594 de 1984
Resolución 75 de 2011	Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.
Resolución Minambiente 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

5.5.2 Normas relacionadas con el agua como recurso natural renovable

Norma	Título
Decreto-ley 2811 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.

Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Ley 689 de 2001	Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 1176 de 2007	Por la cual se desarrollan los artículos 356 y 357 de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones.
Decreto-ley 028 de 2008	Por medio del cual se define la estrategia de monitoreo, seguimiento y control integral al gasto que se realice con recursos del Sistema General de Participaciones
Decreto 1541 de 1978 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto 155 de 2004 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 3100 de 2003 y su modificatorio el Decreto 3440 de 2004	Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.

Resolución 240 de 2004	Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización del agua
Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la parte XIII, Título 2, capítulo III del Decreto ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas parcialmente el numeral 12 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1443 de 2004 y sus modificaciones	Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de vertimientos.
Decreto 2820 de 2010	Por el cual se reglamenta el Título X de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales
Decreto 1900 de 2006	Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se toman otras determinaciones.
Resolución 372 de 1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto 1323 de 2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico, SIRH.
Decreto 1324 de 2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la parte III - Libro I - del

	Decreto 2811 de 1974 en cuanto a Usos del Agua y Residuos Líquidos
Decreto 3930 de 2010 y su modificatorio el Decreto 4728 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones – Modifica parcialmente el Decreto 1594 de 1984
Resolución 75 de 2011	Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.
Norma	Título
Resolución Minambiente 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

5.5.3 Normas relacionadas con el servicio público domiciliario de alcantarillado

Norma	Título
Ley 142 de 1994 y sus modificatorios	Por la cual se establece el régimen jurídico de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones

Decreto 302 de 2000 y su modificatorio el Decreto 229 de 2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Decreto 1575 de 2007 y sus resoluciones reglamentarias 2115 de 2007, 811 de 2008, 82 de 2009 y 4716 de 2010	Por el cual se establece el Sistema para la protección y control del agua para el consumo humano
Resolución 1096 de 2000 y sus modificaciones Resolución 424 de 2001, 668 de 2003, 1447 y 1459 de 2005 y 2320 de 2009	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución CRA 151 de 2001 y sus modificaciones	Regulación integral de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
Resolución MAVDT 1166 de 2006 y sus modificatorias	Por la cual se expide el Reglamento Técnico que señala los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos de acueducto, alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias y sus accesorios que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Resolución MAVDT 813 de 2008	Por la cual se adopta la guía de acceso, elegibilidad, presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico

5.5.4 Normas sobre gestión de riesgo

Norma	Título
Ley 46 de 1988	Por la cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones
Decreto 919 de 1989	Organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones
Decreto 93 de 1998	Adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres
Ley 872 de 2003	Crea el sistema de gestión de calidad en la Rama Ejecutiva del poder público y entidades prestadoras de servicios
Decreto 1599 de 2005	Adopción del Modelo Estándar de Control Interno MECI
	1000:2005

5.6 MARCO METODOLÓGICO

Por tratarse de un proyecto de diseño, la metodología a utilizar es la de análisis de alternativas del sistema a diseñar cuyo enfoque debe considerar aspectos comunitarios, geológicos, de afectación ambiental, disponibilidad de información e infraestructura, disponibilidad de terrenos aptos para la ubicación del sistema de tratamiento seleccionado, costos del sistema, entre otros.

5.6.1 Línea y sublínea de investigación

LINEA: Proyectos Sanitarios, Alcantarillado

SUBLÍNEA: Colección, transporte y tratamiento de vertidos sanitarios

5.6.2 Tipo de Investigación

El proyecto corresponde a la implementación de un sistema nuevo, por lo que el tipo de investigación es descriptiva, en el cual se realizó el análisis de alternativas de acuerdo con las particularidades de la población y de su entorno físico y ambiental. Con la información recolectada y ya establecidos los beneficios del proyecto se consideró el diseño de un sistema de alcantarillado como la mejor alternativa para dar solución al problema.

5.6.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es descriptivo ya que los diseños deben ser normalizados y cuantificados para su aplicación práctica. En razón a ello, también para efectos prácticos el nivel se considera exploratorio pues las decisiones finales de ejecución

e implementación corresponde a inversiones que deben ser ejecutadas por los entes gubernamentales.

5.6.4 Población de estudio

La población corresponde al corregimiento de Nueva Flores, centro poblado con unos 680 habitantes con alto porcentaje de población vulnerable, especialmente infantil. El perímetro urbano de la población tiene la limitante de disponibilidad de terreno apto para la ubicación de sistemas de tratamiento en razón a que se encuentra limitado por fincas cuyos propietarios no estarían dispuestos a ceder terreno para su construcción.

5.6.5 Muestra poblacional

El muestreo se aplicó mediante consulta directa a 120 hogares por ser una población pequeña y con particularidades especiales que ameritan conocimiento directo mediante visitas de observación y documentación a todas las viviendas de la población en estudio.

5.6.6 Desarrollo metodológico

La metodología aplicada corresponde a diseños de sistemas para la gestión de recursos para su construcción y, con ello, satisfacer una necesidad prioritaria y normativa en beneficio del bienestar de una comunidad. Mediante visitas de campo se tuvo una concepción amplia de los sistemas que más se adaptan a las

particularidades de la población y al cumplimiento del objetivo propuesto en el proyecto desarrollado.

Para la cobertura del sistema de alcantarillado se consideró la existencia de zonas protegidas por parte de la empresa de energía eléctrica, que limitan la construcción de viviendas debajo de la línea de energía de alta tensión que atraviesa la población de extremo a extremo. Las viviendas ubicadas en la vía nacional tienen como frente un arroyo seco proyectado para construcción de canal de aguas de escorrentías en la cuneta de la vía nacional. Para el suministro del servicio de estas viviendas se consideró la alternativa de cajas comunitarias alimentadas por los patios de dichas viviendas.

Tabla 2. Fases de la investigación.

Fuente: Autores

Fase	Actividades	Técnicas	Herramientas	Productos
Diagnosticar la situación actual referente a aguas sanitarias	Identificación de estudios y datos existentes	Revisión documental	AutoCAD	Identificación de principales problemas y validación del diagnóstico final.
	Visitas al prestador	Observación directa	Microsoft Excel	
	Inspección en las diferentes viviendas	Encuestas	Documentos, antecedentes y estudios	
	Recorrido con personal del prestador a las instalaciones existentes			
Seleccionar alternativas de evacuación y tratamiento de aguas servidas.	Priorización de problemas identificados	Revisión documental	Compromiso de responsables	Alternativas planteadas, analizadas y comparadas desde el punto de vista técnico y económico
	Fijar objetivos, metas, acciones e indicadores	Diálogos participativos	Planificación estratégica participativa	Alternativa seleccionada
	Elaborar plan estratégico	Análisis situacional de diagnóstico		Fuentes potenciales de financiamientos identificadas por actividades a corto, mediano y largo plazo
Diseñar la red de alcantarillado. RAS 2017 Título D	Elaborar diseños y presupuestos para gestión de proyecto	Revisión de diseños existentes	AutoCAD	Diseño y proyecto finalizado y validado.
		Cálculo de componentes	Microsoft Excel de Manuales de fabricantes	
	Determinar posibles fuentes de financiación			
Diseñar sistema operacional de tratamiento de aguas servidas. RAS 2017 Título D	Elaborar diseños y presupuestos para gestión de proyecto	Revisión de diseños existentes	AutoCAD	Diseño y proyecto finalizado y validado.
		Cálculo de componentes	Microsoft Excel de Manuales de fabricantes	
	Determinar posibles fuentes de financiación			

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE EVACUACIÓN Y TRATAMIENTO

Para la evacuación de aguas servidas, domésticas, en las pequeñas poblaciones se cuenta con dos alternativas principales: Redes de alcantarillado convencional de aguas residuales (sistemas centralizados) y los no convencionales (sistemas descentralizados). De acuerdo con la Resolución 0330 de 2017, “se deben adoptar soluciones de sistema convencional como regla general para todas las poblaciones.

La adopción de sistemas no convencionales debe estar completamente justificada con argumentos técnicos como primera medida, y con argumentos socioeconómicos, socioculturales, financieros, institucionales y de desarrollo urbano, por otra parte. La aceptación por parte de la comunidad de algunas de estas tecnologías es fundamental. Estos sistemas pueden ser considerados como alternativas factibles cuando los sistemas convencionales no lo son desde el punto de vista socioeconómico y financiero, pero requieren mucha mayor definición y control de las contribuciones de aguas residuales dada su mayor rigidez en cuanto a posibilidades de prestación de servicio a usuarios no previstos o a variaciones en las densidades de ocupación”¹(sección 3 Res. 0330/2017).

En realidad, la solución mediante sistemas descentralizados ha sido implementado en estas poblaciones, específicamente en el corregimiento de Nueva Flores, pero sin solución real a los problemas de contaminación ambiental por aguas residuales y son sistemas que pierden funcionalidad rápidamente. A esto, se suma el inconveniente de contaminación de aguas subterráneas, principal fuente de suministro de agua para consumo en la población de Nueva Flores. La alternativa a seleccionar corresponde a sistema centralizado utilizando requisitos de diseño de alcantarillados simplificados.

Para el sistema de tratamiento, en línea con el sistema de alcantarillado, se utilizará sistema de tratamiento centralizado. Para su selección se consideran dos alternativas iniciales: Sistema de lagunas o de plantas compactas (PTAR). Las

lagunas por ser sistemas abiertos, su ubicación requiere mayor distancia del centro poblado y mayor disponibilidad de área para su instalación, inconveniente que para la población de Nueva Flores es una limitante por la dificultad existente para la consecución de terrenos apropiados para su ubicación. De allí, que se opta por plantas de aguas residuales.

Dentro de las alternativas que se presentan se hace uso de la tabla 28 Art 183 de la Resolución 0330 de 2017, Distancias mínimas para su localización y Tabla 29 Art. 184 de la misma resolución, Rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento. Se considera conveniente seleccionar el Reactor UASB (RAFA) en cumplimiento de distancias mínimas para la población y las eficiencias esperadas. Estos reactores presentan varias alternativas utilizadas a nivel comercial y, de ello, existe la experiencia a nivel municipal del sistema implementado en el corregimiento de Los Tupes – San Diego, mediante proyecto gestionado y construido por la Gobernación del Departamento del Cesar. Sin embargo, de la experiencia operativa se observa altos consumos de energía, pese a que se cuenta con el uso de dos tecnologías para el consumo energético: Consumo de energía eléctrica comercial y la solar para operación diurna. Por otro lado, para una operación óptima requiere de mano de obra con mayor grado de calificación que la requerida si el sistema es por gravedad. Por ello, se propone construcción subterránea para minimizar los consumos eléctricos y por un mejor manejo operativo.

Estos reactores tienen la ventaja de su elevada capacidad tratamiento, bajo Tiempo de retención Hidráulica (THR), alta eficacia en la eliminación DQO, bajo requerimiento energético. Tiene como desventaja que el proceso de granulación es difícil de controlar y depende del agua, lo cual, no es problema para el tipo de agua residual (únicamente de origen doméstico), así como tampoco su sensibilidad a sobrecargas. Su construcción es relativamente fácil y es útil para aguas si sólidos suspendidos.

Como todo proceso anaeróbico, la emisión de olores estará presente y la formación de gas metano en el ambiente tiene efectos invernadero, pero son problemas que el sistema permite su control mediante alternativas de uso. Así, el biogás producido se puede utilizar como combustible, se pueden quemar las emisiones produciendo CO_2 y agua cuyos efectos no afectan la calidad del ambiente local. Se puede utilizar para ser oxidado en el reactor aeróbico utilizado en este sistema.

Para la producción de lodos el sistema propuesto incluye manejo de lodos para su disposición final o para su utilización directa en abono para cultivos como pastos o se pueden tratar para el uso en compostajes.

La experiencia en pequeñas poblaciones donde las calles no cuentan con pavimento, las viviendas por lo general son de pisos en barro, así como los patios, indica que el sistema de alcantarillado va a conducir apreciables cantidades de arenas y material sólido como papel, trapos, entre otros. Por lo anterior, el sistema debe contar con sistema de pretratamiento que incluye rejillas, desarenador, medida de caudales y tanque de captación y homogenización.

El sistema propuesto incluye las siguientes operaciones unitarias:

Canal con rejilla, Desarenador, Canaleta Parshall, Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB), Reactor Aerobio de Lodos Activado con Lecho de soporte fijo, Sedimentador, Lecho de Secado de Lodos, Manejo de Biogás

7. DISEÑO REDES DE ALCANTARILLADO

7.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se definirán siguiendo las recomendaciones dadas en las normas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Económico ((hoy Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio) en su documento “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, adoptado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio mediante la Resolución No. 0330 del 08 de junio de 2017.

7.1.1 Período de diseño

El Artículo 40 de la Res. 0330 de 2017. para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, adopta como período de diseño 25 años

Período de Diseño: 25 años

7.1.2 Dotación Neta Máxima

El Artículo 43 de la misma resolución establece que se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 3. Dotación Neta Máxima

Fuente: Res. 0330 de 2017

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACION NETA MÁXIMA L HAB*DiA
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Corresponde a los sistemas del corregimiento de Nueva Flores, por encontrarse a una altura promedio sobre el nivel del mar por debajo de los 1000 m.s.n.m:

Dotación Neta Máxima = 140 l/han*día

7.1.3 Coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El coeficiente de retorno (CR) debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0,85 (art. 134 Res. 0330/2017). Información no disponible, por lo tanto,

Coeficiente de Retorno = 85%

7.1.4 Población servida

La población servida corresponde a los habitantes del corregimiento de Nueva Flores, la cual, no cuenta con un censo específico. Sin embargo, consultada la información existente en la empresa de servicios públicos “EMPOSANDIEGO ESP”, información de líderes del corregimiento y un barrido de conteo por parte de los estudiantes, se aproxima la población actual en 600 habitantes con una población flotantes, correspondiente a trabajadores de fincas aledañas y personal que transita a las fincas de la parte alta del municipio, de 80 personas para un estimado total actual de 680 habitantes.

Para la proyección al período de diseño se hace uso de información DANE para el cálculo de índice de crecimiento utilizando la información correspondiente a los habitantes del municipio de la zona no incluida en la cabecera municipal. La información utilizada corresponde a registro DANE de 15 años las cuales se extrapolan a 25 años para la determinación del índice durante todo el período de diseño. Con el índice obtenido y con la población actual, se proyecta la población total del corregimiento al período de diseño como se indica en las siguientes tablas:

Tabla 4. Proyección población Municipio de San Diego
Fuente: DANE (1-15) años. Elaboración propia extrapolación (15-25) años

PROYECCION DE POBLACION DEL MUNICIPIO DE SAN DIEGO							
METODO ARITMETICO							
ORDEN	AÑO	r ₁ (%)	r ₂ (%)	r(%)	SAN DIEGO (Hab.)	RESTO (Hab)	Total Municipio(Hab.)
	2020				11166	9304	20470
1	2021	1,77%	2,44%	2,08%	11364	9531	20895
2	2022	1,13%	1,85%	1,45%	11492	9707	21199
3	2023	1,06%	1,68%	1,34%	11614	9870	21484
4	2024	1,15%	1,50%	1,31%	11748	10018	21766
5	2025	0,95%	1,65%	1,27%	11860	10183	22043
6	2026	1,06%	1,33%	1,18%	11986	10318	22304
7	2027	1,03%	1,50%	1,25%	12110	10473	22583
8	2028	0,92%	1,41%	1,15%	12222	10621	22843
9	2029	0,92%	1,37%	1,13%	12334	10767	23101
10	2030	1,05%	1,27%	1,15%	12463	10904	23367
11	2031	0,83%	1,35%	1,07%	12566	11051	23617
12	2032	0,96%	1,34%	1,14%	12687	11199	23886
13	2033	0,76%	1,33%	1,03%	12784	11348	24132
14	2034	0,74%	1,15%	0,93%	12878	11478	24356
15	2035	0,78%	1,17%	0,96%	12978	11612	24590
16	2036	0,93%	1,33%	1,12%	13099	11766	24865
17	2037	0,92%	1,31%	1,10%	13220	11920	25139
18	2038	0,91%	1,29%	1,09%	13340	12074	25414
19	2039	0,91%	1,27%	1,08%	13461	12227	25689
20	2040	0,90%	1,26%	1,07%	13582	12381	25963
21	2041	0,89%	1,24%	1,06%	13703	12535	26238
22	2042	0,88%	1,23%	1,05%	13824	12689	26513
23	2043	0,87%	1,21%	1,04%	13944	12843	26787
24	2044	0,87%	1,20%	1,03%	14065	12997	27062
25	2045	0,86%	1,18%	1,01%	14186	13151	27337

Tabla 5. Proyección población Corregimiento de Nueva Flores

Fuente: Elaboración propia extrapolación.

DEPARTAMENTO DEL CESAR			
MUNICIPIO DE SAN DIEGO			
PROYECCION DE POBLACION DE LOS CORREGIMIENTOS DE NUEVA FLORES			
METODO ARITMETICO			
ORDEN	AÑO	r2 (%)	Nueva Flores (Hab.)
	2020		680
1	2021	2,44%	697
2	2022	1,85%	709
3	2023	1,68%	721
4	2024	1,50%	732
5	2025	1,65%	744
6	2026	1,33%	754
7	2027	1,50%	765
8	2028	1,41%	776
9	2029	1,37%	787
10	2030	1,27%	797
11	2031	1,35%	808
12	2032	1,34%	818
13	2033	1,33%	829
14	2034	1,15%	839
15	2035	1,17%	849
16	2036	1,33%	860
17	2037	1,31%	871
18	2038	1,29%	882
19	2039	1,27%	894
20	2040	1,26%	905
21	2041	1,24%	916
22	2042	1,23%	927
23	2043	1,21%	939
24	2044	1,20%	950
25	2045	1,18%	961

7.1.5 Caudal de aguas residuales

De acuerdo al Art. 134 Res. 0330 de 2017, los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el período de diseño con base en el Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Básico de Ordenamiento Territorial o Esquema de Ordenamiento Territorial y Plan de Desarrollo del municipio a través de zonificación del uso de la tierra. Se justificarán los valores adoptados y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio. Se deben estimar los caudales para las condiciones iniciales y finales del período de diseño, en cada uno de los tramos de la red. Los caudales que se requiere calcular son los siguientes:

7.1.5.1 Contribuciones domesticas QCD.

- Cuando se cuenta con proyección de demanda de agua potable, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{QCD} = \text{CR} * \text{D}_{\text{NETAAP}} * \text{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- D_{NETAAP} . - Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s*Ha)
- A.- es el área tributaria de drenaje (Ha)

- Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable por suscriptor, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{QCD} = \text{CR} * \text{Ps} * \text{D}_{\text{NETAS}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- D_{NETAS} . - Demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m3/suscrip-
mes)
- Ps- Número de suscriptores proyectados al periodo de diseño

- Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{QCD} = \text{CR} * \text{P} * \text{D}_{\text{NETA}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- **D_{NETA}**- Dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día)
- **P**- es el número de habitantes proyectados al período de diseño

Si se tiene en cuenta que es una población conformada sin ningún lineamiento urbanístico, sus orígenes provienen de invasiones de lotes desocupados a la orilla de la carretera, existe afectación por línea de conducción de energía de alta tensión con servidumbre conformada por debajo de ésta, impidiendo con ello la construcción en dicho sector. Tiene limitante de lotes de expansión por lo que se cuentan unos 170 lotes, pero en algunos de ellos se pueden encontrar una, dos y tres unidades familiares lo que eleva a unas 200 familias. La población actual es de 600 habitantes con una población flotante de unas 80 personas. En razón a las anteriores observaciones, se opta por la utilización de la relación que utiliza proyección de la población, es decir. Para el corregimiento de Nueva Flores se utilizará la ecuación (3) para el cálculo de la contribución doméstica:

$$\text{QCD} = \text{CR} * \text{P} * \text{D}_{\text{NETA}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Los resultados se calcularon en hoja de cálculo Excel cuya tabla se incluye al final de las apreciaciones de cálculo de acuerdo a las proyecciones de la población ya indicadas.

7.1.5.2 Caudal de aguas residuales no domésticas QND.

Para zonas netamente industriales, comerciales e institucionales se debe elaborar análisis específico de aportes de aguas residuales. Para el corregimiento de Nueva Flores, no existen industrias y el comercio se limita a tienda de barrio, el institucional corresponde a una escuela primaria y una institución de secundaria. La contribución institucional se limita a las dos escuelas ya que existe un centro de salud, pero su uso es esporádico (en campañas de salud) incompleta por lo que estas contribuciones no se tienen en cuenta. El área institucional total es de 0.3014 Há y la base de cálculo es la recomendada por el Reglamento Técnico, la cual es de 0.5 l/s*Há.

7.1.5.3 Caudal medio diario, Qm

Se debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales

$$Q_m = Q_{CD} + Q_c + Q_I + Q_{IN} \quad \text{Ecuación 5}$$

7.1.5.4 Caudal máximo horario (QMH)

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, F, en la siguiente expresión:

$$Q_{MH} = F * Q_m \quad \text{Ecuación 6}$$

Factor de mayoración (F).- El factor de mayoración que se utiliza para calcular el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario final, tiene en cuenta las variaciones normales en el consumo de agua potable por parte de la población a lo largo del día y para los diferentes días de la semana. En general, el factor de mayoración disminuye a medida que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso de agua potable se vuelve más uniforme y adicionalmente la red de tuberías puede contribuir cada vez más a amortiguar los picos de caudal.

Para el cálculo del Factor de Mayoración se cuenta con diferentes ecuaciones que tienen aplicabilidad dependiendo de las restricciones que en ella se presentan. Así, con base en relaciones aproximadas como las Harmon y Babbitt, válidas para poblaciones de 1.000 a 1.000.000 habitantes, y la de Flores, en las cuales se estima F en función del número de habitantes.

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + P^{0,5})} \quad \text{Harmon} \quad F = \frac{5}{P^{0,2}} \quad \text{Babbitt} \quad F = \frac{3,5}{P^{0,1}} \quad \text{Flores}$$

El factor de mayoración también puede ser dado en términos del caudal medio diario como en las fórmulas de Los Ángeles o la de Tchobanoglous.

$$F = \frac{3,53}{Q_{MD}^{0,0914}} \quad \text{Los Angeles}$$

$$F = \frac{3,70}{Q_{MD}^{0,0733}} \quad \text{Tchobanoglous}$$

La fórmula de Los Ángeles es válida para el rango de 2,8 a 28300 L/s, mientras que la de Tchobanoglous lo es para el rango de 4 a 5000 L/s. Según Ras-2000 Título D esta última relación es adecuada cuando la contribución de aguas residuales de procedencia comercial, industrial e institucional no representa más del 25% del caudal total de aguas residuales.

Para los cálculos de este diseño se utiliza la relación de aplicada por la empresa de servicios públicos de Cali, la cual es:

$$F = 2.30/(Q_m)^{0.062} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- Q_m es el caudal medio diario en l/s
- El factor F debe calcularse tramo a tramo de acuerdo al incremento de caudal. En general el valor de F debe estar entre 1.4 y 3.0.

Los valores se calculan en hoja de cálculo Excel, la cual se presenta al final de esta sección.

7.1.5.5 Caudal de conexiones erradas (Q_{CE})

Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios, Q_{CE} . Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0,2 L/s.ha

$$Q_{CE} = 0.2 \text{ L/s} \cdot \text{Há} \quad \text{Ecuación 8}$$

7.1.5.6 Caudal de Infiltraciones (Q_{IN})

El caudal de infiltración debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su

calidad constructiva. Ante la ausencia de información, se debe utilizar un factor entre 0,1 y 0,3 L/s.ha, de acuerdo con las características topográficas, de suelos, los niveles freáticos y la precipitación de la zona del proyecto. Para situaciones en las cuales el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red, el caudal de infiltración podrá excluirse como componente del caudal de diseño. (Art. 134 Res 0330 de 2017).

Para el caso particular de Nueva flores, por su topografía, nivel freático y precipitación está catalogado como de Infiltración Baja por lo que se trabaja con un valor promedio, es decir, un valor de 0.1 l/s. ha

$$Q_{IN} = 0.1 \text{ l/s} \cdot H\acute{a} \quad \text{Ecuación 9}$$

7.2 CAUDAL DE DISEÑO (QD)

El caudal de diseño debe obtenerse sumando el caudal máximo horario, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas. Cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor que 1,5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para el tramo.

$$QD = QMH + QINF + QCE \quad \text{Ecuación 10}$$

Para el cálculo por tramos de redes es preciso conocer la información de áreas tributarias, las cuales son obtenidas a partir del diseño topográfico de las redes. Como también, el cálculo de los caudales de infiltración y conexiones erradas requieren de las respectivas áreas tributarias.

7.3 DIMENSIONAMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL DE AGUAS RESIDUALES

7.3.1 Diámetro interno real mínimo en los alcantarillados sanitarios

De acuerdo al Art. 140 de la Res. 0330 de 2017, el diámetro interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado sanitario es 170 mm. Para poblaciones menores de 2.500 habitantes el diámetro interno real permitido es 140 mm.

En las redes de recolección y evacuación de aguas residuales, la sección circular es la más usual para los colectores, principalmente en los tramos iniciales.

El Art. 145 en el numeral 3 establece como requisito para el diseño de alcantarillados simplificados un diámetro mínimo real de 145 mm.

Tal y como está planteado en la Res. 0330 de 2017, para Nueva Flores se debería utilizar tubería de 6" de diámetro. En este diseño se utilizará tubería PVC de 6" para los colectores y para el emisario final PVC de 8". Sin embargo, si esto no es posible se debe establecer un Diámetro mínimo absoluto de 200mm u 8".

Para Nueva Flores, se utiliza el diámetro para sistemas no convencionales: El diámetro interno mínimo real es de 145 mm (Art. 145 Res 0330 de 2017).

Diámetro Interno Real Permitido = 145 mm (6")

7.3.2 Velocidades Mínimas y Máximas

Velocidades mínimas: Si las aguas residuales fluyen por un periodo largo a bajas velocidades, los sólidos transportados pueden depositarse dentro de los colectores. En consecuencia, se debe disponer regularmente de una velocidad

suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo. El Art. 141 de la Res 0330 de 2017 establece que la velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1,0 Pa. Los criterios de velocidad y esfuerzo cortante se deben determinar para el caudal de diseño, en las condiciones iniciales y finales del período de diseño.

De acuerdo al numeral 4 de Art. 145 de la Res 0330 de 2017 para el diseño de alcantarillados simplificados se establece que la velocidad real dentro de un colector debe estar entre 0,40 m/s y 5,0 m/s, determinada para el caudal de diseño en las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño.

Para el caso considerado, se establece la velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,40 m/s.

Velocidades máximas: De acuerdo al Art. 142 de la Res 0330 de 2017, la velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5,0 m/s, determinada para el caudal de diseño.

Esfuerzo cortante (fuerza tráctil). Según Ras-2000 el esfuerzo cortante medio está dado por la expresión

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S$$

Ecuación 11

Donde,

τ = Esfuerzo cortante en la pared (N/m²).

γ = Peso específico del agua residual (N/m³).

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente (m/m).

En aquellos casos en los cuales, por las condiciones topográficas presentes, no sea posible alcanzar la velocidad mínima, debe verificarse que el esfuerzo cortante sea mayor que 1,0 N/m²

7.3.3 Relación entre Profundidad de Flujo y Diámetro de la Tubería

De acuerdo al Art. 143 de la Res 0330 de 2017, la relación profundidad – diámetro debe permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 85% del diámetro interno real de éste.

7.3.4 Conexiones Domiciliarias

De acuerdo al Art 145 de la Res 0330 de 2017, la conexión domiciliaria a la red de alcantarillado sanitario simplificado debe cumplir los siguientes parámetros:

1. El diámetro interno real mínimo de la tubería es 75 mm.
2. La pendiente mínima de la tubería es 2.5%.
3. La entrega a la red de alcantarillado se debe realizar por gravedad y por la parte media superior del colector de alcantarillado, como mínimo las cotas claves de las tuberías deben quedar al mismo nivel.
4. Se debe proveer una caja de inspección al inicio de la tubería de la conexión domiciliaria, la cual podrá ser utilizada como punto de control para monitorear vertimientos.
5. En el empate a la tubería de la red de alcantarillado se deben usar accesorios como silla tee, silla yee, tee y/o yee o cajas de empalme en el caso de redes en tubería de concreto.

7.3.5 Profundidades mínimas de colectores a la cota clave

Por las particularidades de la población, se utiliza la recomendación para alcantarillados simplificados definido en numeral 3 del Art. 145 de la resolución 0330 de 2017: “La profundidad mínima a cota clave debe ser 0,60 m. En cruces de vías y en la entrada de garajes se deben prever protecciones estructurales a la tubería o garantizar un recubrimiento mínimo de 1,0 m.

7.4 DISEÑO TOPOGRÁFICO DE REDES

La información suministrada en este aparte corresponde a la obtenida de planos en autocad del plano levantado con la información de cartera topográfica obtenida en la recolección de información. La cartera correspondiente se incluye como anexo. Del levantamiento topográfico en la población se obtiene un área total (perímetro sanitario de la población) de: 5.25 Há, Institucional (dos escuelas) de 0.3014 Há

Con el área total se obtienen los caudales para infiltraciones y conexiones erradas, para finalmente, aplicar la ecuación 9 para el caudal de diseño. Valores tabulados en la siguiente tabla durante el período de proyección de diseño.

Elaboración propia

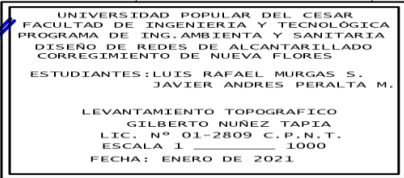
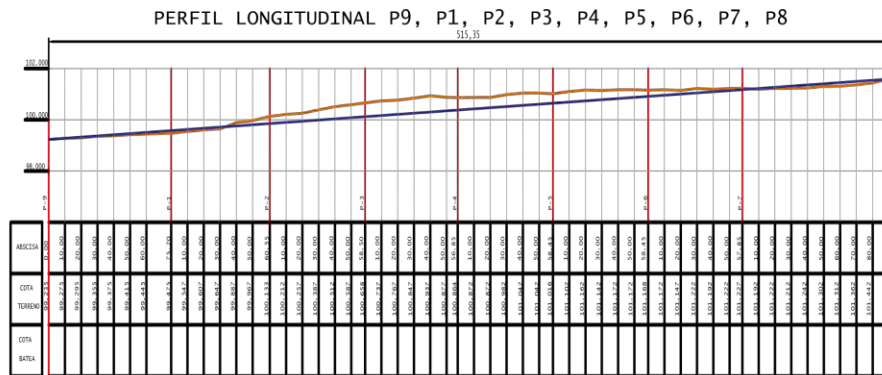
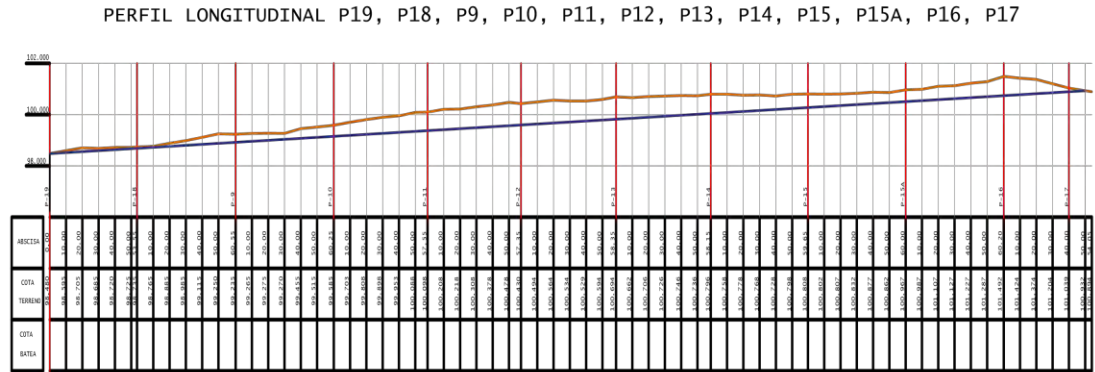


Figura 4. Perfiles levantamiento Topográfico para Alcantarillado Nueva Flores
Elaboración propia



UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE ING.AMBIENTA Y SANITARIA
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
CORREGIMIENTO DE NUEVA FLORES
ESTUDIANTES: LUIS RAFAEL MURGAS S.
JAVIER ANDRES PERALTA M.

LEVANTÓ: GILBERTO NUÑEZ TAPIA
LIC. N° 01-2809 C.P.N.T.
ESCALA H 1:1000
ESCALA V 1:100
FECHA: ENERO DE 2021

Tabla 6. Cálculo de caudales para período de proyección
Elaboración propia

CALCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO PROYECTADO										AREA TRIBUTARIA TOTAL =			5,25
AÑO	POBLACION Nueva Flores	DOTACION NETA (d _{neto})	COEFICIENTE DE RETORNO	CONTRIBUCIONES DOMÉSTICAS	CONTRIBUCIONES NO DOMÉSTICAS			CAUDAL MEDIO DIARIO	COEF. CONSUMO MÁX. HORARIO (F)	CAUDAL MÁXIMO HORARIA (QMH)	CAUDAL CONEXIONES ERRADAS	CAUDAL DE INFILTRACIONES (Qinf)	CAUDAL DE DISEÑO
	HAB	L-H-D	CR %	QCD (L/S)	CAUDAL INDUSTRIAL QI, L/S	CAUDAL COMERCIAL, l/s	CAUDAL INSTITUCIONAL, l/s - Para Area Institucional	Qm, l/s	F = 2,30/Qm^0,62	QMH, l/s	QCE, l/s*ha	QINF, l/s*ha	QD, l/s
							0,5				0,2	0,1	
2020	680	140	85%	0,94	0	0	0,15	1,09	2,29	2,49	1,05	0,525	4,06
2021	697	140		0,96	0	0	0,15	1,11	2,29	2,54	1,058	0,525	4,12
2022	709	140		0,98	0	0	0,15	1,13	2,28	2,57	1,058	0,525	4,16
2023	721	140		0,99	0	0	0,15	1,14	2,28	2,61	1,058	0,525	4,19
2024	732	140		1,01	0	0	0,15	1,16	2,28	2,64	1,058	0,525	4,22
2025	744	140		1,03	0	0	0,15	1,18	2,28	2,68	1,058	0,525	4,26
2026	754	140		1,04	0	0	0,15	1,19	2,28	2,71	1,058	0,525	4,29
2027	765	140		1,05	0	0	0,15	1,20	2,27	2,74	1,058	0,525	4,32
2028	776	140		1,07	0	0	0,15	1,22	2,27	2,77	1,058	0,525	4,35
2029	787	140		1,08	0	0	0,15	1,23	2,27	2,80	1,058	0,525	4,39
2030	797	140		1,10	0	0	0,15	1,25	2,27	2,83	1,058	0,525	4,41
2031	808	140		1,11	0	0	0,15	1,26	2,27	2,86	1,058	0,525	4,45
2032	818	140		1,13	0	0	0,15	1,28	2,27	2,90	1,058	0,525	4,48
2033	829	140		1,14	0	0	0,15	1,29	2,26	2,93	1,058	0,525	4,51
2034	839	140		1,16	0	0	0,15	1,31	2,26	2,95	1,058	0,525	4,54
2035	849	140		1,17	0	0	0,15	1,32	2,26	2,98	1,058	0,525	4,57
2036	860	140		1,18	0	0	0,15	1,34	2,26	3,02	1,058	0,525	4,60
2037	871	140		1,20	0	0	0,15	1,35	2,26	3,05	1,058	0,525	4,63
2038	882	140		1,22	0	0	0,15	1,37	2,26	3,08	1,058	0,525	4,66
2039	894	140		1,23	0	0	0,15	1,38	2,25	3,11	1,058	0,525	4,70
2040	905	140		1,25	0	0	0,15	1,40	2,25	3,15	1,058	0,525	4,73
2041	916	140		1,26	0	0	0,15	1,41	2,25	3,18	1,058	0,525	4,76
2042	927	140		1,28	0	0	0,15	1,43	2,25	3,21	1,058	0,525	4,80
2043	939	140		1,29	0	0	0,15	1,44	2,25	3,25	1,058	0,525	4,83
2044	950	140		1,31	0	0	0,15	1,46	2,25	3,28	1,058	0,525	4,86
2045	961	140		1,32	0	0	0,15	1,47	2,25	3,31	1,058	0,525	4,89

CAUDAL DE DISEÑO PROYECTADO = QD = 4.89 L/S

El caudal obtenido se utilizará para el cálculo del caudal real de diseño (QRD) y del sistema de tratamiento de los vertidos del alcantarillado.

Con las particularidades indicadas para la población del corregimiento de Nueva Flores, municipio de San Diego y con las observaciones de campo y, en cumplimiento de las recomendaciones normativas, se definen las profundidades de pozo, pendientes terreno y tubería. Es recomendable que las pendientes sean decrecientes con el fin de obtener velocidades cercanas, las cuales, compensando con ello el efecto de mayores caudales en los tramos finales del diseño.

En la zona correspondiente a las viviendas ubicadas al lado de la carretera nacional, por la imposibilidad de trazado de redes por el frente, se optó por ubicar cajas comunitarias en la parte posterior de los lotes, en la zona de protección por la línea de corriente eléctrica de alto voltaje. Se tuvo en cuenta el perímetro sanitario de esta zona y se incluyó en la línea que va del pozo 17 al 9. Para coleccionar las aguas residuales por la parte posterior de las viviendas se construyen 13 cajas de 1 m² a la profundidad indicada en la tabla correspondiente incluida en la parte final del diseño de redes.

En la Tabla 6 mostrada a continuación, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos con cotas terreno y los cálculos de cota batea para tubería, las recomendaciones normativas, específicamente las correspondientes al Reglamento Técnico adoptado por la Res. 0330 de 2017. Criterios de los estudiantes de acuerdo a las observaciones de campo.

Tabla 7. Caudales de diseño por tramo de tubería de aguas residuales
Elaboración propia

CAUDALES DE DISEÑO POR TRAMO DE TUBERIA DE AGUAS RESIDUALES																										
AREA TOTAL DEL PERIMETRO SANITARIO, Há = AT =								5,25		Los valores de áreas tributarias fueron calculada en plano con AutoCad 2017																
CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH), l/s								3,31																		
QMH POR HECTÁREA, l/s*Há = QHR/AT=								0,63		INFILTRAC.(lts/s*Ha)=		0,1		CONEXIONES ERRADAS (l/s*Ha)=		0,2		QD/Ha		0,93						
ÍTEM	DESCRIPCION	TRAMO							COTAS						AREA TRIBUTARIA (Ha)				CAUDAL DE DISEÑO							
		POZO				TUBERIA									LADOS		ACUMULADO		TRAMO	TOTAL	QDR					
		INICIO	FINAL	LONG. A CENTRO POZO	LONG. TUBERIA	DIAMETR O TUBERIA	PENDIENTE TERREN	PENDIENTE TUBERIA	COTA TERRENO	PROF.	COTA BATEA	DER.	IZQ.	DER.	IZQ.	CAUDAL DE DISEÑO	ACUMUL.	TOTAL ACUM. REAL								
	DEL TRAMO	DE	A	M	M	PULGADA	(%)	(%)	T. INICIAL	T. FINAL	POZOS	P. INICIAL	P. FINAL	D1	D2	D1	D2	(lps)	(lps)	(lps)						
1	INICIAL	17	16	40,00	38,80	6	-1,13	0,56	101,039	101,492	0,76	100,28	100,06	0,092	0,000	0,092	0,000	0,085	0,095	1,50						
2	SECUNDARIO	16	15A	60,20	59,00	6	0,87	0,45	101,492	100,967	1,43	100,03	99,77	0,138	0,119	0,230	0,119	0,240	0,335	1,50						
3	SECUNDARIO	15A	15	60,00	58,80	6	0,26	0,44	100,967	100,808	1,20	99,74	99,48	0,138	0,119	0,368	0,238	0,239	0,574	1,50						
4	SECUNDARIO	15	14	59,65	58,45	6	0,02	0,43	100,808	100,796	1,33	99,45	99,20	0,400	0,084	0,768	0,322	0,450	1,024	1,50						
5	SECUNDARIO	14	13	58,15	56,95	6	0,18	0,42	100,796	100,694	1,60	99,17	98,92	0,416	0,082	1,184	0,404	0,464	1,488	1,50						
6	SECUNDARIO	13	12	58,35	57,15	6	0,45	0,41	100,694	100,430	1,77	98,89	98,66	0,240	0,084	1,424	0,488	0,301	1,789	1,79						
7	SECUNDARIO	12	11	57,35	56,15	6	0,58	0,41	100,430	100,098	1,77	98,63	98,40	0,238	0,081	1,662	0,569	0,297	2,086	2,09						
8	SECUNDARIO	11	10	57,55	56,35	6	0,89	0,36	100,098	99,585	1,70	98,37	98,17	0,347	0,082	2,009	0,651	0,399	2,486	2,49						
9	SECUNDARIO	10	9	60,25	59,05	6	0,58	0,34	99,585	99,235	1,42	98,14	97,94	0,207	0,087	2,216	0,738	0,273	2,759	2,76						
10	SECUNDARIO	9	18	60,55	59,35	8	0,83	0,34	99,235	98,735	1,30	97,91	97,71	0,097	0,000	2,312	0,738	0,090	2,849	2,85						
11	SECUNDARIO	18	19	53,55	52,35	8	0,48	0,37	98,735	98,480	1,03	97,68	97,48	0,000	0,000	2,312	0,738	0,000	2,849	2,85						
		19									1,00															
11	INICIAL	8	7	89,50	88,30	6	0,40	0,69	101,587	101,227	1,00	100,74	100,13	0,177	0,000	0,177	0,000	0,165	0,165	1,50						
12	SECUNDARIO	7	6	57,85	56,65	6	0,10	0,46	101,227	101,168	1,10	100,10	99,84	0,082	0,000	0,259	0,000	0,076	0,241	1,50						
13	SECUNDARIO	6	5	58,45	57,25	6	0,26	0,48	101,168	101,016	1,33	99,81	99,54	0,082	0,000	0,341	0,000	0,077	0,318	1,50						
14	SECUNDARIO	5	4	58,45	57,25	6	0,26	0,48	101,016	100,864	1,48	99,51	99,23	0,084	0,000	0,425	0,000	0,078	0,396	1,50						
15	SECUNDARIO	4	3	56,85	55,65	6	0,36	0,48	100,864	100,658	1,63	99,20	98,94	0,080	0,000	0,505	0,000	0,075	0,470	1,50						
16	SECUNDARIO	3	2	58,50	57,30	6	0,90	0,46	100,658	100,133	1,72	98,91	98,64	0,083	0,000	0,589	0,000	0,078	0,548	1,50						
17	SECUNDARIO	2	1	60,55	59,35	6	1,09	0,49	100,133	99,475	1,49	98,61	98,33	0,087	0,000	0,676	0,000	0,081	0,629	1,50						
18	SECUNDARIO	1	9	75,20	74,00	6	0,32	0,53	99,475	99,235	1,15	98,30	97,91	0,109	0,000	0,785	0,000	0,101	0,730	1,50						
19	SECUNDARIO	7	15	81,25	80,05	6	0,52	0,77	101,227	100,808	1,10	100,10	99,48	0,161	0,115	0,161	0,115	0,257	0,257	1,50						
20	SECUNDARIO	6	14	82,55	81,35	6	0,45	0,75	101,168	100,796	1,33	99,81	99,20	0,116	0,116	0,278	0,231	0,216	0,473	1,50						
21	SECUNDARIO	5	13	80,35	79,15	6	0,40	0,74	101,016	100,694	1,48	99,51	98,92	0,113	0,115	0,391	0,346	0,212	0,685	1,50						
22	SECUNDARIO	4	12	79,60	78,40	6	0,55	0,69	100,864	100,430	1,63	99,20	98,66	0,114	0,112	0,505	0,458	0,211	0,896	1,50						
23	SECUNDARIO	3	11	79,50	78,30	6	0,70	0,65	100,658	100,098	1,72	98,91	98,40	0,112	0,113	0,617	0,572	0,210	1,106	1,50						
24	SECUNDARIO	2	10	77,95	76,75	6	0,70	0,58	100,133	99,585	1,49	98,61	98,17	0,111	0,112	0,728	0,684	0,208	1,314	1,50						
LONGITUD TOTAL, m				1.622,15		SUMAS														5,25	3,83		1,42	4,89		5,85

Caudal de Diseño Real (QDR) = 5.85 lps

Tabla 8. Características geométricas por tramo de tubería de aguas residuales
Elaboración propia

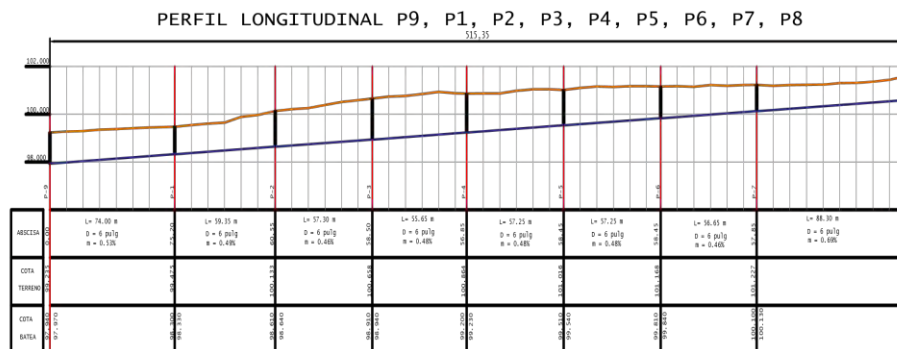
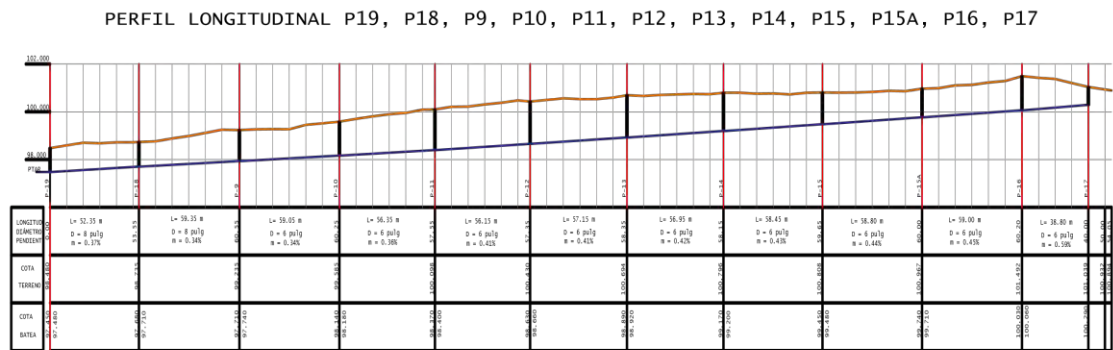
TRAMO						CAUDAL DISEÑO	CARACTERISTICAS GEOMÉTRICAS				
ÍTEM	DESCRIPCION	POZO		TUBERIA			QDR	n	DN	DEXT	DIN
		INICIO	FINAL	DIAMETRO TUBERIA	PENDIENT E TUBERIA	TOTAL ACUM. REAL	Coef. De rugosidad de Manning	DIÁMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERNO	DIÁMETRO INTERNO	PEND. P
	1	INICIAL	17	16	6	0,56	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145
2	SECUNDARIO	16	15A	6	0,45	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
3	SECUNDARIO	15A	15	6	0,44	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
4	SECUNDARIO	15	14	6	0,43	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
5	SECUNDARIO	14	13	6	0,42	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
6	SECUNDARIO	13	12	6	0,41	1,79	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
7	SECUNDARIO	12	11	6	0,41	2,09	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
8	SECUNDARIO	11	10	6	0,36	2,49	0,01	0,160	0,160	0,145	0,004
9	SECUNDARIO	10	9	6	0,34	2,76	0,01	0,160	0,160	0,145	0,003
10	SECUNDARIO	9	18	8	0,34	2,85	0,01	0,200	0,200	0,182	0,003
11	SECUNDARIO	18	19	8	0,37	2,85	0,01	0,005	0,200	0,182	0,004
		19									
11	INICIAL	8	7	6	0,69	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,007
12	SECUNDARIO	7	6	6	0,46	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
13	SECUNDARIO	6	5	6	0,48	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
14	SECUNDARIO	5	4	6	0,48	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
15	SECUNDARIO	4	3	6	0,48	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
16	SECUNDARIO	3	2	6	0,46	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
17	SECUNDARIO	2	1	6	0,49	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
18	SECUNDARIO	1	9	6	0,49	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,005
											0,000
19	SECUNDARIO	7	15	6	0,77	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,008
20	SECUNDARIO	6	14	6	0,75	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,008
21	SECUNDARIO	5	13	6	0,74	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,007
22	SECUNDARIO	4	12	6	0,69	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,007
23	SECUNDARIO	3	11	6	0,65	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,007
24	SECUNDARIO	2	10	6	0,58	1,50	0,01	0,160	0,160	0,145	0,006

Tabla 9. Cálculo de Características Hidráulicas de cada tramo de la Red de Alcantarillado
Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS														
VALORES A TUBO LLENO			RELACIONES HIDRAULICAS				VALORES REALES						DIFERENCIA COTAS EN POZO	¿CÁMARA DE CAÍDA?
QII	VII	TII												
Caudal	Velocidad	TENSION	q/Q	v/V	d/D	t/T	v	- d - LAMINA AGUA	FUERZA TRACTIVA	COMPL E O NO CUMPL E	No. DE FROUD	RÉGIMEN DE FLUJO	LLEGADA- SALIDA	DIF. COTAS>0, 75, SI
m3/s	m/s	kg/m2					(m/s)	(mts)	Kg/m2				m	SI/NO
0,014	0,82	0,203	0,11	0,55	0,27	0,62	0,45	0,04	0,13	OK	0,73	SUBCRITICO	0	NO
0,012	0,73	0,163	0,12	0,57	0,28	0,65	0,42	0,04	0,11	OK	0,66	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,73	0,160	0,12	0,57	0,28	0,65	0,42	0,04	0,10	OK	0,65	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,72	0,156	0,13	0,57	0,29	0,66	0,41	0,04	0,10	OK	0,65	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,71	0,154	0,13	0,57	0,29	0,66	0,41	0,04	0,10	OK	0,64	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,70	0,148	0,15	0,61	0,32	0,72	0,43	0,05	0,11	OK	0,63	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,70	0,150	0,18	0,64	0,35	0,77	0,45	0,05	0,11	OK	0,64	SUBCRITICO	0,03	NO
0,011	0,66	0,131	0,23	0,68	0,40	0,85	0,45	0,06	0,11	OK	0,60	SUBCRITICO	0,03	NO
0,011	0,64	0,123	0,26	0,71	0,43	0,90	0,45	0,06	0,11	OK	0,58	SUBCRITICO	0,03	NO
0,019	0,74	0,153	0,15	0,60	0,31	0,71	0,44	0,06	0,11	OK	0,60	SUBCRITICO	0,03	NO
0,020	0,78	0,169	0,14	0,59	0,30	0,69	0,46	0,06	0,12	OK	0,63	SUBCRITICO	0,10	NO
0,015	0,91	0,250	0,10	0,53	0,25	0,59	0,49	0,04	0,15	OK	0,81	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,74	0,166	0,12	0,57	0,28	0,65	0,42	0,04	0,11	OK	0,67	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,76	0,172	0,12	0,56	0,28	0,64	0,43	0,04	0,11	OK	0,68	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,76	0,172	0,12	0,56	0,28	0,64	0,43	0,04	0,11	OK	0,68	SUBCRITICO	0,03	NO
0,013	0,76	0,173	0,12	0,56	0,28	0,64	0,43	0,04	0,11	OK	0,68	SUBCRITICO	0,03	NO
0,012	0,75	0,168	0,12	0,57	0,28	0,65	0,42	0,04	0,11	OK	0,67	SUBCRITICO	0,03	NO
0,013	0,76	0,176	0,12	0,56	0,28	0,64	0,43	0,04	0,11	OK	0,69	SUBCRITICO	0,03	NO
0,013	0,76	0,176	0,12	0,56	0,28	0,64	0,43	0,04	0,11	OK	0,69	SUBCRITICO	0,10	NO
0,016	0,96	0,280	0,09	0,53	0,24	0,57	0,51	0,04	0,16	OK	0,86	SUBCRITICO	0,03	NO
0,016	0,95	0,273	0,10	0,53	0,25	0,58	0,50	0,04	0,16	OK	0,85	SUBCRITICO	0,03	NO
0,016	0,94	0,267	0,10	0,53	0,25	0,58	0,50	0,04	0,15	OK	0,84	SUBCRITICO	0,03	NO
0,015	0,91	0,252	0,10	0,53	0,25	0,59	0,49	0,04	0,15	OK	0,82	SUBCRITICO	0,03	NO
0,015	0,88	0,236	0,10	0,54	0,25	0,60	0,48	0,04	0,14	OK	0,79	SUBCRITICO	0,03	NO
0,014	0,84	0,212	0,11	0,55	0,26	0,61	0,46	0,04	0,13	OK	0,75	SUBCRITICO	0,03	NO

Las características hidráulicas obtenidas, indican que el sistema de redes propuesto para la población de Nueva Flores cumple con las condiciones hidráulicas y normativas. Para el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se utilizará el caudal de diseño real y las cotas correspondientes al pozo 19. En la Figura 4 se muestran los perfiles obtenidos con la información tabulada para cotas, pendientes y longitudes.

Figura 5. Perfiles del sistema de redes
Elaboración propia



UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIA Y TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE ING.AMBIENTA Y SANITARIA
DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO
CORREGIMIENTO DE NUEVA FLORES
ESTUDIANTES: LUIS RAFAEL MURGAS S.
JAVIER ANDRES PERALTA M.

LEVANTÓ: GILBERTO NUÑEZ TAPIA
LIC. N° 01-2809 C.P.N.T.
ESCALA H 1:1000
ESCALA V 1:100
FECHA: ENERO DE 2021

Tabla 10. Cálculos para la zona de cajas colectoras de las viviendas ubicadas al margen de la carretera nacional

Elaboración propia

ÍTEM	DESCRIPCION	TRAMO							COTAS				
		CAJA		LONG. A CENTRO CAJA	LONG. TUBERIA	TUBERIA							
		INICIO	FINAL			DIAMETRO TUBERIA	PENDIENTE TERRENO	PENDIENT E TUBERIA	COTA TERRENO		PROF.	COTA BATEA	
	DEL TRAMO	DE	A	M	M	PULGADA	(%)	(%)	T. INICIAL	T. FINAL	CAJA	B. INICIAL	B. FINAL
1	INICIAL	C1	P17	20,00	18,80	6	-0,13	0,72	101,014	101,039	0,600	100,414	100,279
2	INICIAL	C2	C3	12,00	10,80	6	0,08	0,56	101,048	101,038	0,900	100,148	100,088
3	SECUNDARIO	C3	C4	58,00	56,80	6	0,52	0,48	101,038	100,738	0,950	100,058	99,788
4	SECUNDARIO	C4	P15	63,00	61,80	6	-0,11	0,45	100,738	100,808	1,100	99,758	99,478
5	INICIAL	C5	P14	73,00	71,80	6	-0,33	0,50	100,558	100,796	1,000	99,558	99,196
6	INICIAL	C6	C7	12,00	10,80	6	-0,54	0,32	100,134	100,199	1,000	99,134	99,099
7	SECUNDARIO	C7	C8	60,00	58,80	6	0,04	0,41	100,199	100,175	1,100	99,069	98,825
8	SECUNDARIO	C8	P12	41,00	39,80	6	-0,62	0,34	100,175	100,430	1,380	98,795	98,660
9	INICIAL	C9	C10	18,00	16,80	6	0,39	0,42	99,915	99,845	1,000	98,915	98,845
10	SECUNDARIO	C10	C11	19,00	17,80	6	0,91	0,52	99,845	99,673	0,950	98,815	98,723
11	SECUNDARIO	C11	P11	30,00	28,80	6	-1,42	1,02	99,673	100,098	1,100	98,693	98,398
11	INICIAL	C12	C13	11,00	9,80	6	1,18	1,33	99,448	99,318	1,000	98,448	98,318
12	SECUNDARIO	C13	P10	26,00	24,80	6	-1,03	0,50	99,318	99,585	1,100	98,288	98,165

Los valores resaltados corresponden a las cotas de los pozos del diseño. Donde vierten las cajas comunitarias. Los vertidos de estas viviendas quedan incluidos en el perímetro sanitario de las redes diseñadas, como áreas tributarias.

Tabla 11. Cálculos para cantidades de obra en redes

Elaboración propia

TRAMO		BASES DE CALCULO PARA VOLUMENES DE ZANJAS Y POZOS										CÁLCULO DE VOLUMENES DE EXCAVACIÓN				
POZO		LONGITUDES			TUBERIA		COTAS					PROFUNDIDADES			VOL. EXC. ZANJA	VOL. EXC. POZO
INICIO	FINAL	LONG. A CENTRO POZO	LONG. TUBERIA	LONG. ZANJAS	DIAMETRO TUBERIA	ANCHO ZANJA	COTA TERRENO		PROF.	COTA BATEA		PROF. ZANJA INICIAL	PROF. ZANJA FINAL	PROF. ZANJA PROM		
DE	A	M	M	M	PULGADA	M	T. INICIAL	T. FINAL	POZOS	B. INICIAL	B. FINAL	M	M	M	M3	M3
17	16	40,00	38,80	38,50	6	0,6	101,039	101,492	0,76	100,29	100,06	0,75	1,43	1,09	25,18	1,34
16	15A	60,20	59,00	58,70	6	0,6	101,492	100,967	1,43	100,03	99,77	1,46	1,20	1,33	46,84	2,53
15A	15	60,00	58,80	58,50	6	0,6	100,967	100,808	1,20	99,74	99,48	1,23	1,33	1,28	44,93	2,12
15	14	59,65	58,45	58,15	6	0,6	100,808	100,796	1,33	99,45	99,20	1,36	1,60	1,48	51,64	2,35
14	13	58,15	56,95	56,65	6	0,6	100,796	100,694	1,60	99,17	98,92	1,63	1,77	1,70	57,78	2,83
13	12	58,35	57,15	56,85	6	0,6	100,694	100,430	1,77	98,89	98,66	1,80	1,77	1,79	60,89	3,13
12	11	57,35	56,15	55,85	6	0,6	100,430	100,098	1,77	98,63	98,40	1,80	1,70	1,75	58,64	3,13
11	10	57,55	56,35	56,05	6	0,6	100,098	99,585	1,70	98,37	98,17	1,73	1,42	1,58	52,97	3,00
10	9	60,25	59,05	58,75	6	0,6	99,585	99,235	1,42	98,14	97,94	1,45	1,30	1,38	48,47	2,51
9	18	60,55	59,35	59,05	8	0,7	99,235	98,735	1,30	97,91	97,71	1,33	1,03	1,18	48,78	2,30
18	19	53,55	52,35	52,05	8	0,7	98,735	98,480	1,03	97,68	97,48	1,06	1,00	1,03	37,53	1,82
19									1,00							1,77
8	7	89,50	88,30	88,00	6	0,6	101,587	101,227	1,00	100,74	100,13	0,85	1,10	0,97	51,48	1,77
7	6	57,85	56,65	56,35	6	0,6	101,227	101,168	1,10	100,10	99,84	1,13	1,33	1,23	41,59	1,94
6	5	58,45	57,25	56,95	6	0,6	101,168	101,016	1,33	99,81	99,54	1,36	1,48	1,42	48,52	2,35
5	4	58,45	57,25	56,95	6	0,6	101,016	100,864	1,48	99,51	99,23	1,51	1,63	1,57	53,65	2,62
4	3	56,85	55,65	55,35	6	0,6	100,864	100,658	1,63	99,20	98,94	1,66	1,72	1,69	56,12	2,88
3	2	58,50	57,30	57,00	6	0,6	100,658	100,133	1,72	98,91	98,64	1,75	1,49	1,62	55,40	3,04
2	1	60,55	59,35	59,05	6	0,6	100,133	99,475	1,49	98,61	98,33	1,52	1,15	1,34	47,30	2,63
1	9	75,20	74,00	73,70	6	0,6	99,475	99,235	1,15	98,30	97,94	1,18	1,30	1,24	54,83	2,03
7	15	81,25	80,05	79,75	6	0,6	101,227	100,808	1,10	100,10	99,48	1,13	1,33	1,23	58,86	0,00
6	14	82,55	81,35	81,05	6	0,6	101,168	100,796	1,33	99,81	99,20	1,36	1,60	1,48	71,97	0,00
5	13	80,35	79,15	78,85	6	0,6	101,016	100,694	1,48	99,51	98,92	1,51	1,77	1,64	77,59	0,00
4	12	79,60	78,40	78,10	6	0,6	100,864	100,430	1,63	99,20	98,66	1,66	1,77	1,72	80,36	0,00
3	11	79,50	78,30	78,00	6	0,6	100,658	100,098	1,72	98,91	98,40	1,75	1,70	1,73	80,73	0,00
2	10	77,95	76,75	76,45	6	0,6	100,133	99,585	1,49	98,61	98,17	1,52	1,42	1,47	67,43	0,00
LONGITUD TUBERÍA 6"		1480,45			NÚMERO DE POZOS. DIÁMETRO EXT. 1.5 M=				19	VOLUMEN EXCAVACION ZANJA Y POZO, M3					1379,47	48,08
LONGITUD TUBERÍA 8"		111,70			Pozos de prof. <= 1,5 m				13	VOLUMEN EXC. ZANJA PROF. >=1,5 M, M3					745,34	30,08
LONG. TOTA TUBERIA (6"+8")		1592,15			Pozos de prof. > 1,5 m				6	VOLUMEN EXC. ZANJA PROF. <1,5 M, M3					634,14	18,01

Tabla 12. Cálculos para cantidades de obra en zona de cajas

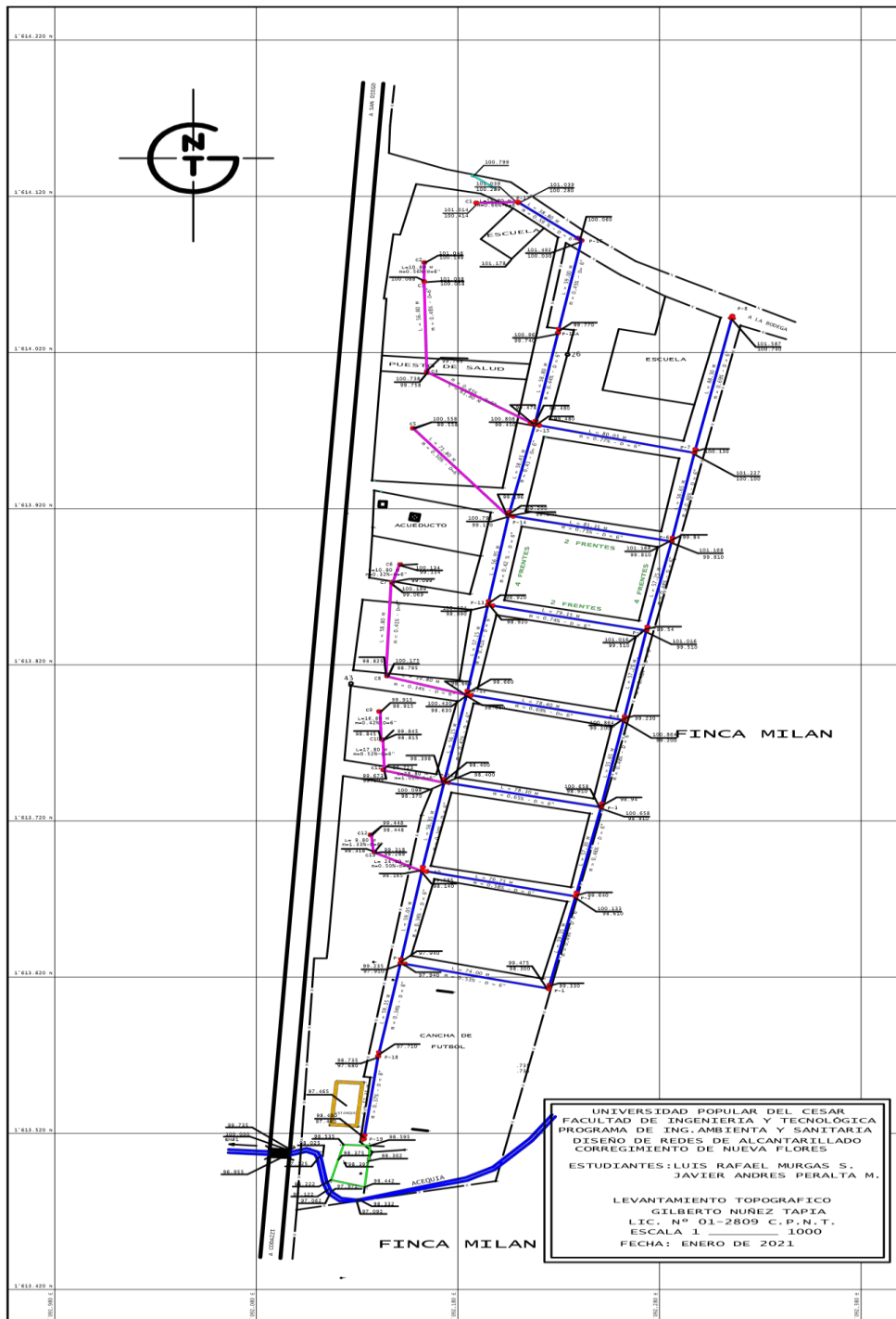
Elaboración propia

TRAMO		BASES DE CALCULO PARA VOLUMENES DE ZANJAS Y CAJAS										CÁLCULO DE VOLUMENES DE EXCAVACIÓN				
POZO		LONGITUDES			TUBERIA		COTAS					PROFUNDIDADES			VOL. EXC. ZANJA	VOL. EXC. CAJAS
INICIO	FINAL	LONG. A CENTRO CAJA	LONG. TUBERIA	LONG. ZANJAS	DIAMETR O TUBERIA	ANCHO ZANJA	COTA TERRENO		PROF.	COTA BATEA		PROF. ZANJA INICIAL	PROF. ZANJA FINAL	PROF. ZANJA PROM		
DE	A	M	M	M	PULGADA	M	T. INICIAL	T. FINAL	CAJA	B. INICIAL	B. FINAL	M	M	M	M3	M3
C1	P17	20,00	18,80	18,50	6	0,6	101,014	101,039	0,600	100,414	100,289	0,60	0,75	0,67	7,49	0,86
C2	C3	12,00	10,80	10,50	6	0,6	101,048	101,038	0,900	100,148	100,088	0,90	0,95	0,93	5,83	1,30
C3	C4	58,00	56,80	56,50	6	0,6	101,038	100,738	0,950	100,058	99,788	0,98	0,95	0,97	32,71	1,37
C4	P15	63,00	61,80	61,50	6	0,6	100,738	100,808	1,100	99,758	99,478	0,98	1,33	1,16	42,62	1,58
C5	P14	73,00	71,80	71,50	6	0,6	100,558	100,796	1,000	99,558	99,196	1,00	1,60	1,30	55,77	1,44
C6	C7	12,00	10,80	10,50	6	0,6	100,134	100,199	1,000	99,134	99,099	1,00	1,10	1,05	6,61	1,44
C7	C8	60,00	58,80	58,50	6	0,6	100,199	100,175	1,100	99,069	98,825	1,13	1,35	1,24	43,52	1,58
C8	P12	41,00	39,80	39,50	6	0,6	100,175	100,430	1,380	98,795	98,660	1,38	1,77	1,58	37,33	1,99
C9	C10	18,00	16,80	16,50	6	0,6	99,915	99,845	1,000	98,915	98,845	1,00	1,00	1,00	9,90	1,44
C10	C11	19,00	17,80	17,50	6	0,6	99,845	99,673	0,950	98,815	98,723	1,03	0,95	0,99	10,40	1,37
C11	P11	30,00	28,80	28,50	6	0,6	99,673	100,098	1,100	98,693	98,398	0,98	1,70	1,34	22,91	1,58
C12	C13	11,00	9,80	9,50	6	0,6	99,448	99,318	1,000	98,448	98,318	1,00	1,00	1,00	5,70	1,44
C13	P10	26,00	24,80	24,50	6	0,6	99,318	99,585	1,100	98,288	98,165	1,03	1,42	1,23	18,01	1,58
LONGITUD TUBERÍA 6"		427,40			NÚMERO DE CAJAS 1 M X 1M=				13	VOLUMEN EXCAVACION ZANJA Y CAJAS, M3					298,81	18,98
										VOLUMEN EXC. ZANJA <= 1,5 M Y CAJAS, M3					261,48	18,98
										VOLUMEN EXC. ZANJA >1,5 M Y CAJAS, M3					37,33	0,00

Acometidas: Total 120 para toda la población. Incluyen:

- Excavación de zanjas
- Tubería 6"
- Caja de Registro de 0.6 m x 0.6 m
- Silla Yee 6x6
- Sika flex
- Mano de Obra
-

Figura 6. Diseño hidráulico sistema de alcantarillado Nueva Flores
Elaboración propia



8. DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO

8.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS

8.1.1 Parámetros Básicos de Diseño

Los parámetros básicos de diseño usados para dimensionar un reactor UASB corresponden al caudal y la concentración. Para las aguas residuales domésticas el caudal es el parámetro decisivo, mientras que para las aguas residuales industriales ambos parámetros tienen que tenerse en cuenta de manera complementaria.

Si se considera que los compuestos degradables bajo condiciones aeróbicas también podrán ser degradados bajo condiciones anaeróbicas, se puede utilizar la relación DBO/DQO como indicador de la biodegradabilidad del agua residual. Definiendo la biodegradabilidad anaeróbica como el porcentaje de la DQO presente en una muestra orgánica que se puede transformar en metano bajo condiciones anaeróbicas, también conocido como metalogénesis, y puede ser visto como el análogo anaeróbico de la DBO, que representa la biodegradabilidad aeróbica de la muestra. En el caso de las aguas residuales domésticas la DQO es degradable anaeróbicamente en un 70%. La relación DQO/DBO cercana a 2 se considera una buena indicación de que el agua residual es biodegradable anaeróbicamente. Cuanto mayor sea esta relación, menor será la biodegradabilidad.

8.1.2 Parámetros que afectan el Diseño y la Operación

El parámetro externo que más afecta el diseño y la operación es la fluctuación horaria, diaria, semanal o mensual de caudal. Si estas fluctuaciones son demasiado pronunciadas, pueden obligar a incluir un tanque de compensación o a aumentar demasiado el volumen del reactor. Las variaciones normales observadas para las

aguas residuales domésticas son normalmente bastante pequeñas, en magnitud y duración, y es posible despreciarlas. Por otra parte, el reactor de UASB ha demostrado un alto grado de resistencia para hacer frente a las variaciones de caudal. Éste no es el caso para muchos usos industriales. El control de pH o la adición de nutrientes (en ARI con sustratos orgánicos puros) modifica la operación del reactor, pero no cambiará fundamentalmente el diseño conceptual.

8.1.3 Suposiciones Básicas

El punto más delicado de todo el proceso de diseño es la selección del Tiempo de Retención Hidráulica (HRT) y la carga orgánica (CO) apropiada. En caso de que no exista un estudio que haya determinado experimentalmente estos parámetros para las condiciones locales, estos dos valores se obtienen generalmente de una revisión cuidadosa de la bibliografía especializada. Una selección incorrecta de estos parámetros comprometerá la confiabilidad de todo el proceso de diseño.

El TRH es el tiempo que las aguas residuales permanecerán en el reactor y debe ser suficiente para asegurar un tratamiento apropiado:

$$TRH = V/Q \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

TRH = tiempo de retención hidráulica (h)

V = volumen (m³)

Q = caudal (m³ /h)

El número de reactores depende generalmente del caudal. Para caudales pequeños (alrededor de 500 m³ /d) generalmente basta con una sola unidad. Para el caso de Nueva Flores el caudal obtenido es de 423 m³/d. En razón a las cercanías de caudal

para la construcción de dos unidades, se construirán dos unidades con las siguientes ventajas:

(a) la puesta en marcha puede ser más fácil de lograr en una unidad pequeña que luego pueda proporcionar el inóculo de lodo para la segunda unidad;

(b) se facilita el mantenimiento ya que mientras un reactor se encuentra fuera de servicio, el otro sigue trabajando; y

(c) la construcción se puede hacer en fases para contemplar el crecimiento de la población (tener en cuenta que el tiempo de vida útil de diseño es de 25 años) o nuevas conexiones al sistema de alcantarillado. Los costos pueden ser más altos si la planta se sobredimensiona al principio, pero generalmente no queda alternativa porque los fondos de inversión en grandes proyectos de saneamiento generalmente se obtienen en un desembolso único.

Por otra parte, la CO es la cantidad de materia orgánica que se introducirá en el reactor. Si se expresa por unidad de volumen del reactor, es la carga orgánica “volumétrica” (COV):

$$COV = Q \times C / V = C / TRH \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

COV = carga orgánica volumétrica (kgDQO/m³. d)

C = concentración (kgDQO/m³)

La CO se puede también expresar en términos de la cantidad de materia orgánica alimentada al reactor por unidad masa de sólidos suspendidos volátiles (SSV), suponiendo que los SSV son una indicación de la cantidad de bacterias viables disponibles en el reactor. Esta CO se llama carga orgánica “específica” (COE) o carga “del lodo”:

$$COE = Q \times C / V \times X \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

COE = Carga Orgánica Específica (kgDQO/kgSSV.d)

X = Concentración activa de lodo en el reactor (kgSSV/m³)

Los valores de TRH y COV aplicable varían en función del tipo de aguas residuales, de las condiciones climáticas, del caudal y de otros factores.

8.1.4 Parámetros Ambientales

La temperatura es el parámetro ambiental por excelencia y determina la viabilidad del tratamiento anaeróbico. En un sentido estricto, no es un parámetro de diseño en sí mismo, pero si no está dentro de un rango aceptable, el proceso entero puede fallar. Sin embargo, la temperatura de las aguas residuales afecta el tamaño del reactor ya que influirá en la velocidad de las reacciones biológicas y, por lo tanto, en el tiempo de residencia requerido en el reactor. El funcionamiento de un reactor anaeróbico bajo condiciones de campo depende no solamente de procesos biológicos, sino también de la remoción física de las partículas suspendidas. Por lo tanto, la cantidad inicial y la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos pueden llegar a ser muy importantes. Esta remoción ocurre por procesos físicos tales como coagulación, adsorción y filtrado. La degradación subsiguiente de la fracción de partículas removida dependerá principalmente de la temperatura. A excepción de algunos casos extremos (por ejemplo, países muy secos donde el consumo de agua es extremadamente bajo), se puede considerar que la concentración de sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV) en ARD es aceptable para el tratamiento anaeróbico. Lo mismo se puede decir del pH y de la concentración “natural” de macronutrientes (N, P) y micronutrientes (FE, Cd, zn, Co, entre otros).

En la práctica, la temperatura de 35°C, suele tomarse como valor de referencia para el diseño y operación de reactores sin que esto suponga que los reactores no

pueden trabajar a temperaturas más bajas. Menor temperatura significa menor actividad y mayor volumen de reactor, pero no imposibilidad de realizar el proceso

8.2 SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

Por facilidad de construcción y operación se unirá en una única estructura, a las cámaras de llegada y salida, las rejillas, los desarenadores y la unidad de medición de flujos, lo que hace que al diseño de la estructura se pueda adicionar una estructura de control, como un vertedero plano o un vertedero proporcional (vertederos sutro), para el control de caudales pico en épocas de crecida.

El sistema de pretratamiento consta de:

- Rejilla
- Desarenador
- Canaleta Parshall
- Cámara de reparto

La rejilla se ubica entre la salida del último pozo de inspección del emisario final y el desarenador, su finalidad es retirar material sólido, que por mal uso en la red es depositado en cajillas y pozos principalmente.

El desarenador, compuesto por dos unidades para un mejor mantenimiento, se ubica entre la rejilla y la canaleta Parshall. Su función es la de retirar arenas procedentes de usos inadecuados por recolección de vertidos en patios sin piso de concreto o similares y por arrastres en épocas de crecidas.

La función principal de la canaleta implementada es la de hacer aforos de caudales procedentes de la red y dispuestos para su tratamiento. La canaleta propuesta es prefabricada en material de fibra plástica y se empotra entre el desarenador y la caja de reparto.

La caja de reparto se ubica al final de la canaleta Parshall y su función es la de dividir y controlar los caudales alimentados a los dos reactores UASB.

8.2.1 Diseño de Rejillas

De acuerdo al Art. 186 de la resolución 0330 de 2017, requisitos mínimos de diseño para rejillas, se utilizan rejas medias (entre 2 y menores de 4 cm) con espaciamiento de 2 cm y espesor de $\frac{3}{4}$ pulgadas, es decir:

$$b = 2 \text{ cm}; w = 1.905 \text{ cm}$$

Velocidad de Aproximación a la rejilla (vca)

La velocidad máxima de aproximación debe ser de 1.2 m/s para caudal máximo y de 0.3 m/s para caudal mínimo. Se tuvo en cuenta como velocidad de aproximación la misma con que sale del último pozo del emisario final, es decir:

$$vca = 0.446 \text{ m/s}$$

La velocidad de aproximación cumple con las limitantes establecidas por la resolución 0330 de 2017. La limpieza de las rejas finas se hará manualmente.

Porcentaje de área de Flujo (Eficiencia de Rejilla, E)

El porcentaje de área de flujo, o eficiencia de la rejilla se obtuvo a partir de la siguiente expresión:

$$E = \frac{b}{b + w} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

E = Eficiencia de la rejilla o porcentaje de área de flujo entre las barras.

b = Separación entre barras en m = 0.02 m (2 cm)

$w = \text{Ancho de las barras} = \frac{3}{4}'' = 0.01905 \text{ m (1.905 cm)}$

Reemplazando en ecuación 15:

$$E = 2 \text{ m} / (2 \text{ m} + 1.905 \text{ m}) = 0.51$$

Área de Paso entre Varillas (Área útil de canal, A_u):

Para el cálculo del área de paso entre las barras, se utilizó la siguiente expresión:

$$A_u = Q_{MAX} / 3600 / v_{ca} \quad \text{Ecuación 16}$$

En donde:

A_u = Área de paso entre barras en m^2

Q_{max} = Caudal máximo total en $\text{m}^3/\text{s} = 21.05 \text{ m}^3/\text{h}$.

V_{ac} = Velocidad de aproximación = 0.446 m/s .

Remplazando en la ecuación 16 se tiene:

$$A_u = 21.05 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 \text{ h/s} / 0.446 \text{ m/s} = 0.013 \text{ m}^2$$

Área total de la rejilla inclinada (Área del canal, A_t):

Para el cálculo del área total de la rejilla inclinada se utilizó la siguiente expresión:

$$A_t = A_u / E \quad \text{Ecuación 17}$$

En donde:

A_t = Área total de la rejilla inclinada o área canal

A_u = Área de paso en $\text{m}^2 = 0.013 \text{ m}^2$

$E = \text{Eficiencia de la rejilla} = 51.22\%$

Remplazando los correspondientes valores en la expresión (17) se tiene:

$$At = 0.013 \text{ m}^2 / 0.51 = 0.026 \text{ m}^2$$

Altura máxima de lámina de agua en el canal

A la salida del pozo final, la altura de la lámina de agua calculada en el diseño de redes de alcantarillado es de 0.06 m en tubo de 8". Conocida el área del tubo y el área del canal, se obtiene por similitud (cálculos en tabla 12) la altura en la lámina de agua la cual es de:

$$hc = 0.049 \text{ m}$$

Altura total del canal:

La altura total del canal (htr) es altura de lámina de agua más 0.30 m de altura disponible, es decir:

$$htr = hc + 0.30 = 0.049 + 0.30 \text{ m} = 0.349 \text{ m}$$

Proyección Altura sobre la rejilla (P):

La proyección de la altura sobre rejilla se obtiene por definición del seno de un ángulo aplicado a la inclinación de la rejilla, así:

$$P = hc / \text{seno } (45^\circ) = 0.049 \text{ m} \times \text{seno } (45^\circ) = 0.069 \text{ m}$$

Ancho del Canal (wt):

Se define como el área total (At) dividida por la proyección (P) de la rejilla, así:

$$wt = At / P = 0.026 \text{ m}^2 / 0.069 \text{ m} = 0.370 \text{ m}$$

Ancho útil de rejilla (w_u) se define como el área útil (A_u) dividida por la altura de la lámina de agua, es decir:

$$w_u = A_u/h_c = 0.013 \text{ m}^2/0.049 \text{ m} = 0.268 \text{ m}$$

Ancho de Barras (w_b):

Se obtiene restando al ancho total el ancho útil de las rejillas, es decir:

$$w_b = w_t - w_u = 0.370 \text{ m} - 0.268 \text{ m} = 0.102 \text{ m}$$

Número de barras (n_b):

La expresión corresponde al ancho total de barra dividido por el ancho de una barra, así:

$$n_b = w_b/(w/100) = 0.102 \text{ m}/(1.905\text{cm}/100\text{cm/m}) = 6 \text{ barras}$$

Longitud mínima de canal (l_{cr}):

Se obtiene como la proyección de la altura total del canal ocupado por la rejilla más 20 cm, es decir:

$$L_{cr} = 0,20 + (h_{tr}/\text{TAN}(I_r)) = 0.20 \text{ m} + 0.349 \text{ m}/\tan(45^\circ) = 0.55 \text{ m}$$

Velocidad del agua residual en la rejilla (v_r):

Se obtiene como la resultante en la rejilla de la velocidad que trae el agua residual al llegar a la rejilla, es decir:

$$v_r = v_{ca}/\text{sen}(45) = (0.446 \text{ m/s})/\text{seno}(3.1416 \cdot 45^\circ/180) = 0.63 \text{ m/s}$$

Pérdida de carga en la rejilla (H_R):

Del Reglamento técnico, se tiene la siguiente expresión para su cálculo:

$$H_R = (\beta \cdot (w/b)^{1,33}) \cdot (v^2/2g) \cdot (\text{sen}\alpha)^2$$

Al reemplazar los valores en la expresión, se tiene:

$$HR = 0.017 \text{ m}$$

El valor del coeficiente de pérdida (β) se obtiene de la Tabla E4.6 del reglamento técnico, para varillas redondas de $\frac{3}{4}$ ". Las pérdidas obtenidas están por debajo de 0.75 m

En la siguiente tabla desarrollada en Excel, se presentan todos los cálculos realizados en el dimensionamiento de rejilla y canal, con indicación de las relaciones utilizadas.

Tabla 13. Diseño de Tratamiento Primario. Dimensionamiento Rejilla

Elaboración propia

DISEÑO TRATAMIENTO PRIMARIO					
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
	CAUDAL MÁXIMO	m ³ /hr	21,05	QMAX	
	VELOCIDAD ENTRE REJILLAS	m/s	<0,7	vc	Art. 186 Res. 0330 de 2017. Qmax 1,2 m/s y Qmin 0,3 m/s
	ESPACIAMIENTO/PLATINAS	cm	2	b	Art. 186 Res. 0330 de 2017
	ESPESOR BARRAS	cm	1,905	w	Utilizar varillas No. 6, es decir de $\frac{3}{4}$ "
DESARROLLO					
	PORCENTAJE AREA DE FLUJO	%/100	0,51	E	$b/(b+w)$
	VELOCIDAD ASUMIDA/REJILLAS	m/s	0,446	vca	Velocidad de aproximación - Diseño redes
	AREA ÚTIL DE CANAL	m ²	0,013	Au	$QMAX/3600/vca$
	ÁREA TOTAL DE CANAL	m ²	0,026	At	Au/E
	ÁREA TOTAL TUBO DE 8"	m ²	0,031	Atubo 8"	$A = 3.1416 \cdot D^2/4$
	ALTURA LÁMINA DE AGUA EN TUBO	m	0,060	d	Diseño redes salida pozo final
	ALTURA LÁMINA DE AGUA EN CANAL	m	0,049	hc	$hc = At \cdot d / Atubo \text{ 8"}$
	ALTURA TOTAL DEL CANAL	m	0,349	htr	$hc + 0,30$
	INCLINACIÓN REJILLA	Grados	45	lr	ángulo inclinación rejilla = α
	PROYECCIÓN ALTURA SOBRE REJILLA	m	0,069	P	$P = hc / \text{SEN}(45)$
	ANCHO DEL CANAL	m	0,370	wt	$wt = At/P$
	ANCHO UTIL REJILLA	m	0,268	wu	$wu = Au/hc$
	ANCHO DE BARRAS	m	0,102	wb	$wt - wu$
	NÚMERO DE BARRAS	Num	5,4	nb	$nb = (wb/100)/w$
	LONGITUD MINIMA CANAL	m	0,55	Lcr	$0,20 + (htr/TAN(lr))$
	Velocidad en la rejilla	m/s	0,63	vr	$vr = vca / \text{sen}(45)$
	PÉRDIDA DE CARGA EN LA REJILLA	m	0,017	HR	$HR = (\beta \cdot (w/b)^{1,33}) \cdot (v^2/2g) \cdot (\text{sen} \alpha)^2$; menor de 0,75 m
	Coeficiente de pérdidas		1,790	β	Ras E.4.6 para vaillas redondas de $\frac{3}{4}$ "

8.2.2 Diseño Desarenador

Con el fin de sedimentar las partículas como arenas y gravas finas se planteó el diseño de dos desarenadores, los cuales se diseñaron para el caudal máximo horario que llega a la planta y está compuesto por zona de transición y canal de rejilla, la zona de entrada al desarenador, la zona de desarenado, la salida del desarenador y la zona de almacenamiento de arenas. El sistema está controlado por una canaleta Parshall que se ubica a la salida del desarenador de donde se alimenta a los dos reactores UASB.

La estructura de tratamiento preliminar que conformada por las siguientes secciones:

- **Llegada al sistema.** - Llega tubería de 8" en PVC procedente del último pozo del emisario final del sistema de alcantarillado diseñado. La llegada planteada es directa bifurcando el tubo en las dos entradas a la cámara de transición, o si se desea direccionar a través de caja repartidora o uniendo las dos cámaras de transición en una sola, opción que solo requiere quitar el muro divisorio y mediante compuertas controlar las entradas a los dos desarenadores.
- **Canal con rejillas.** - Si se desea pueden incluirse varias parrillas para desbaste de material procedente de la mala operación en el alcantarillado. Para este diseño solo se consideró una sola rejilla.
- **Compuertas de entrada.** - Trabajan abiertas y se cierran para operaciones de mantenimiento.
- Los desarenadores cuentan con cámara para depósito de arena, la cual, debe ser retirada cada 15 días.
- **Compuertas de Salida.** - Ubicadas a la salida del desarenador, antes de entrar a la canaleta Parshall, que será una sola unidad para los dos desarenadores.
- **Canaleta Parshall.** - Seleccionada de acuerdo al caudal a tratar y que se propone instalar canaletas construidas con material plástico o de poliéster

recubierto con fibra de vidrio, que son ofrecidas por el mercado. Ésta, corresponde al elemento de control del sistema.

- **Compuertas de Salida.** La alternativa es una sola salida hacia una cámara de reparto de donde saldrán las dos líneas que alimentan a los reactores UASB por el fondo de éste. Lo anterior sugiere que se puede bifurcar directamente a la salida de la canaleta y llevarlas en forma independiente al fondo del UASB respectivo.

El fundamento teórico se basa en las leyes físicas de la sedimentación discreta, pues se trata de velocidades de sedimentación de partículas de peso específico elevado y de forma generalmente redondeada.

El desarenador es un elemento hidráulico, generalmente de geometría rectangular. Este tiene como objeto suministrar al caudal unas condiciones de velocidad tales, que les permita a los residuos minerales inertes y pesados (escombros, guijarros, partículas de metal, carbón, etc.) decantar, con el fin de mejorar la eficiencia de los tratamientos posteriores.

8.2.2.1 Dimensionamiento del desarenador

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el dimensionamiento del desarenador se utilizan como criterios de diseño los indicados en el artículo 188 de la Resolución 0330 de 2017, Reglamento Técnico y recomendaciones de la bibliografía consultada. Dentro de estos criterios se tienen:

- La relación larga/ancho debe ser entre 10 y 20
- Prever la eliminación de partículas con diámetro mínimo de 0.3 mm
- Velocidad de decantación de 0.03 m/s.
- La altura de la lámina de agua se puede estimar con la expresión:

$$H = H_{\max} - Z \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

H max: Altura máxima de la lámina de agua estimada anteriormente

Z: Resalto hidráulico estimado para el medidor Parshall

- La sedimentación de arena fina ($d < 0.01$ cm) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de número de Reynolds menores de uno ($Re < 1.0$).
- La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1.0 y 1 000.
- La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1 000.
- La velocidad mínima horizontal debe estar entre 0,2 y 0,4 m/s
- El período de retención hidráulica debe estar entre 20 segundos y 3 minutos
- La Relación ancho: profundidad debe estar en relación 1:1 o 1:5.

En razón al control a partir de canaleta Parshall, mediante el caudal a tratar se selecciona el ancho de la garganta de la canaleta, para este caso corresponde a 3 pulgadas. A partir de esta información, aplicando la ecuación para la canaleta con los valores experimentales de ésta, se aplica la ecuación general a cada caudal: De diseño, mínimo y máximo.

$$Q = K (H_a)^n \quad \text{Ecuación 19}$$

Obteniéndose las alturas de lámina de agua: De diseño, para caudal máximo y mínimo definidos para la canaleta y altura del resalto (Z).

Con la información anterior se obtiene la altura de la lámina de agua en el desarenado con la expresión:

$$H = H_{\max} - Z \quad \text{Ecuación 20}$$

El valor obtenido para la altura de la lámina de agua en el desarenador (H) es de 0.440 m, como se muestra en la tabla de cálculos.

Teniendo en cuenta los anteriores criterios, y considerando el dimensionamiento del canal de rejilla se asume un ancho de canal verificando que cumpla con la condición de velocidad y tiempo de retención, así, se establece:

- Ancho del desarenador = $B = 0.37 \text{ m}$
- Relación Largo/ancho = 5
- Largo desarenador = $5 \times 0.37 \text{ m} = 1.85 \text{ m}$
- Relación ancho/profundidad = 5
- Profundidad = 0.111 m

Con los anteriores criterios se obtiene el dimensionamiento para el desarenador, obtenidos con hoja de cálculo Excel e indicados en la Tabla 13.

En la tabla se incluyen los cálculos de velocidad de sedimentación para supuestos flujo laminar (fórmula de stoke: $Re < 1.0$) verificando su no cumplimiento por lo que se aplica la fórmula de Allen para zona de transición ($1 < Re < 1000$).

Adicionalmente, se incluyen los valores de caudales máximo y mínimo para canaleta Parshall la cual se obtiene en el mercado de acuerdo a los límites de caudales a medir.

Como se puede observar la velocidad de decantación es superior a la velocidad que lleva el agua por lo que no se espera que no sucederá suspensión de arenas decantadas.

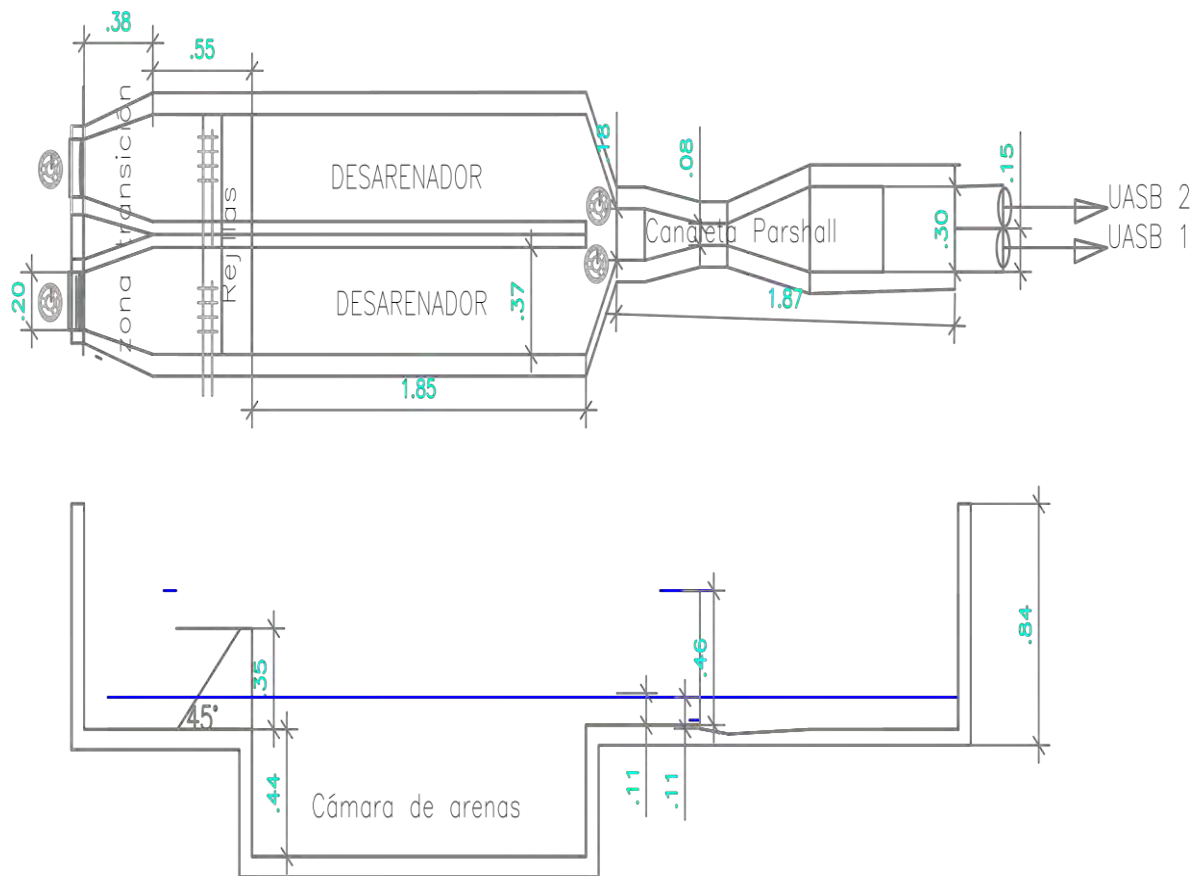
Tabla 14.- Dimensionamiento desarenador, zona de transición y canaleta Parshall.

Elaboración propia

PARÁMETRO	UND	VALOR	SÍMBOLO	FORMULA
CAUDAL DE DISEÑO	L/S	5,85	QDR	
CAUDAL DE DISEÑO	M3/H	21,05	QDR	
CAUDAL DE DISEÑO	m3/día	505,32	QDR	
CAUDAL DE DISEÑO	m3/s	0,006	QDR	
El flujo de agua sera controlado por una canaleta parshall con ecuación $Q = K Ha^n$ - Se dimensiona la canaleta				
CAUDAL REAL DE DISEÑO	l/s	5,85	QRD	Se selecciona canaleta con ancho de garganta 3" (0,076 m)
CAUDAL REAL DE DISEÑO	cfs	0,2065	QRD	
CAUDAL MÁXIMO	l/s	53,80	Qmax	Caudal máximo experimental canaleta
CAUDAL MÁXIMO	cfs	1,9	Qmax	
CAUDAL MÁXIMO	m3/s	0,0538	Qmax	
CAUDAL MÍNIMO	l/s	0,85	Qmin	Caudal mínimo experimental canaleta
CAUDAL MÍNIMO	cfs	0,030	Qmin	
CAUDAL MÍNIMO	m3/s	0,001	Qmin	
Coefficiente para W = 3"	adimen.	0,176	k	Coefficiente en función del ancho de la garganta, sistema métrico (SI)
Coefficiente para W = 3"	adimen.	0,099	k	Coefficiente en función del ancho de la garganta, sistema americano (SA)
Coefficiente para W = 3"	adimen.	1,547	n	Coefficiente en función del ancho de la garganta
CÁLCULO DE ALTURAS DE LÁMINA DE AGUA EN CANALETA PARSHALL				
Altura para el caudal de diseño	m	0,111	Ha para QRD	$Ha = (QRD/K)^{1/n}$
Altura máxima para canaleta de 3"	m	0,465	Ha max	$Ha = (Qmax/K)^{1/n}$
Altura Mínima para canaleta 3"	m	0,032	Ha min	$Ha = (Qmin/K)^{1/n}$
ALTURA DEL RESALTO DE LA CANALETA	m	0,025	Z	$Z = (Qmax \cdot Hmin - Qmin \cdot Hmin) / (Qmax - Qmin)$
DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR				
ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA	m	0,440	H	$H = Hmax - Z$
Estimación de Velocidades para diferentes caudales de diseño - RAS 2000 ENTRE 0,2 m/s y 0,4 m/s				
CAUDAL, m3/s	H, m	H-Z	V m/s	$V = Q/S = Q/(B \cdot (H-Z))$
Qmax	0,465	0,440	0,33	B asumida = 0,37, cumple rango de velocidades
QRD	0,111	0,086	0,18	B asumida = 0,37, cumple rango de velocidades
Qmin	0,032	0,007	0,33	B asumida = 0,37, cumple rango de velocidades
ANCHO DEL DESARENADOR	m	0,370	B	Valor que cumple con rango de velocidades. Proviene de canal con rejilla
LONGITUD DEL DESARENADOR	m	1,850	L	$L = 5 \cdot B$ - Tabla E4.7 RAS
AREA SUPERFICIAL DEL DESARENADOR	m2	0,685	As	$As = L \cdot B$
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR				
Tasa de escurrimiento superficial del desarenador	m3/m2*día	738,23	T	$T = QRD/As$ - Cumple rango de 700 a 1600 m3/m2/día
Tasa de arena	arena/ m3 Af	0,04	Ta	Por cada 1000 m3 de agua residual decantan 40 litros de arena
Volumen de arena para QRD	litros/día	20,21	Va	Volumen de arena decantada en un día
Periodo de limpieza	días	15,00	PI	
Volumen total de arena a extraer a los 15 días	m3	0,30	Vta	$Vta = Va \cdot PI / 1000$
Altura de la Tolva	m	0,44	Hm	$Hm = Vta/As$
Tiempo de Retención Hidráulica	seg	103	θ	$\theta = As \cdot (Hm + H) / QRD$
CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN (DECANTACIÓN)				
DENSIDAD RELATIVA DE LA ARENA		2,65	ps	
Diámetro de la partícula	cm	0,030	d	Diámetro mínimo Art. 188 Res. 0330 de 2017
Temperatura del agua	°C	26	t	
Viscosidad del agua	cm2/s	0,0101	η	
aceleración de la gravedad	cm/s2	981	g	
Velocidad de sedimentación	cm/s	8,01	Vs	$Vs = g \cdot (ps - 1) \cdot d^2 / (18 \cdot \eta)$
Número de Reynolds	0,08013119	23,80	Re	Re > 1, no aplica fórmula stokes, aplicar Allen para Vs
Velocidad de sedimentación (con fórmula de Allen)	cm/s	4,21	Vs	$Vs = 0,22 \cdot \text{potencia}((ps - 1) \cdot g \cdot d^3 / \text{potencia}(\eta; 1/3))$
Número de Reynolds		12,50	Re	Zona de transición
Coefficiente de Arrastre (zona de transición)		3,11	CD	$CD = (24/R) + (3/(R^{0,5})) + 0,34$
Velocidad de sedimentación con coeficiente de arrastre	cm/s	4,56	V's	$Vs = (4 \cdot g \cdot (ps - 1) \cdot d / CD) \cdot 0,5$
Número de Reynolds		13,56	Re	Zona de transición
Vs > Vh, por lo que se espera no se producirá suspensión de arena decantada				
ZONA DE TRANSICIÓN (LLEGADA)				
ANCHO DE LLEGADA A LA ZONA DE TRANSICIÓN	m	0,20	b	Se instala tubería de 8" procedente de la red (ultimo pozo)
ANCHO SALIDA AL DESARENADOR	m	0,37	B	Calculada eb cámara de rejilla
ANGULO ZONA DE TRANSICIÓN	°	12,50		
LARGO DE ZONA DE TRANSICIÓN	m	0,38	L1	$L1 = (B - b) / 2 \cdot \tan(12,5)$

Con la información tabulada se construye en AutoCAD la Figura 7 con las dimensiones indicadas, vista planta y transversa

Figura 7. Desarenador, zona de rejilla y compuertas con zona de transición de entrada y canaleta Parshall
Elaboración propia



8.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB

8.3.1 Parámetros de diseño

Los valores de caudales corresponden a los obtenidos en el diseño de redes de alcantarillado.

Para los aportes per cápita para aguas residuales domésticas, a falta de análisis de aguas residuales, se tendrá en cuenta los recomendados en la Tabla 24 del parágrafo 2 Art. 169, sección 2 de la Resolución 0330 de 2017, los cuales se consignan en la tabla 12 de este diseño.

Tabla 15. Aportes per cápita para aguas residuales domésticas

Fuente: Res. 330 de 2017

Aportes per cápita para aguas residuales domésticas		
Parámetro	Intervalo	Valor sugerido
DBO 5 días, 20°C, g/hab/día	25 - 80	80
Sólidos en suspensión, g/hab/día	30 - 100	80
NH ₃ -N, g/hab/día	7,4 - 11	8,4
N, Kjeldahl total como N, g/hab/día	9,3 - 13,7	12
Coliformes totales, #/hab/día	2*EXP 8 - 2*EXP 11	2* EXP 11

8.3.2 Altura del reactor

La altura líquida del reactor UASB varía de un valor estándar de 4 m para reactores a escala real para el tratamiento de ARD. Para las aguas Q residuales industriales,

esta altura puede ser de hasta 20 m. La altura será determinada. Para el cálculo de los sistemas de Nueva Flores, el valor de la altura que se asuma debe cumplir con el rango de velocidad ascensional indicado en la Tabla 32 del Art. 191 de la Res. 0330 de 2017, el cual está entre 0.5 y 0.7 m/h.

8.3.3 Volumen del Reactor:

Se debe establecer si el reactor está limitado por la carga hidráulica o por la carga orgánica comparando el volumen del reactor calculado de las dos maneras siguientes:

$$V = Q \times \text{TRH} \quad \text{Ecuación 21}$$

despejando de la fórmula del TRH, y:

$$V = Q \times C/\text{COV} \quad \text{Ecuación 22}$$

Un reactor limitado orgánicamente quiere decir que el lodo (las bacterias anaeróbicas) que crecerá en el reactor no será capaz nunca de consumir toda la materia orgánica del AR porque ésta es demasiado concentrada. Demasiada CO y poco Q. Un reactor limitado hidráulicamente quiere decir que el caudal de AR a tratar es demasiado elevado y que la concentración del AR no es lo suficientemente alta como para alimentar el lodo que potencialmente se podría desarrollar en el reactor. Demasiado Q y poca CO.

Para este diseño se asume como criterio para el diseño la limitante de carga hidráulica siguiendo la recomendación de que al trabajar con bajas cargas orgánicas (ARD, DQO < 1500 mg/l) la limitante del proceso es la carga hidráulica (Lettinga y Hulshoff, 1995a; van Haandel y Lettinga, 1994 y Lettinga et. al. 1980).

Los cálculos que se indican en la tabla siguiente corresponden a diseño limitado hidráulicamente y las formas del reactor está definida con el diseño del separador trifásico que se indica posteriormente.

Tabla 16. Diseño de reactor UASB

Elaboración propia

DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)						
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR UN SOLO REACTOR	VALOR UN REACTOR DE DOS		FORMULA
	Q DE DISEÑO REAL	L/S	5,85	2,92		Tabla parámetros de diseño
	Q DE DISEÑO	M3/H	21,05	10,53		Tabla parámetros de diseño
	Q DE DISEÑO	m3/dia	505,32	252,66		Tabla parámetros de diseño
	TIEMPO DE RETENCIÓN - Temperatura >26	h	8	8	>6	Tabla 31 Art. 191 Res. 0330/2017
	VOLUMEN	m3	168,44	84,22		
	H TOTAL	m	5,4	5,4		
	PROFUNDIDAD LAMINA DE AGUA	m	5	5		
	AREA TRANSVERSAL	m2	33,69	16,84		
	DIÁMETRO SI ES CILINDRICO	m	6,55	4,63		
	SI ÁREA CUADRADA	m	5,80	4,10		
	DBO AFLUENTE	mg/L	152			
	CARGA DBO	kg/dia	77			
	TEMPERATURA	°C	30			
	VELOCIDAD ASCENSIONAL	m/h	0,63	0,5 - 0,70		Tabla 32 Art. 191 Res. 0330/2017
	CARGA ORGÁNICA	kg DBO/m3*dia	0,46	<1		<1
	Tipo de Lodo (floculento Tabla 33)	kg SST/m3	152,16	CO aplicada <1		Para área de influencia distribuidores de flujo
	EFICIENCIA DEL REACTOR	%	65,00%	65 - 80		Tabla 29 Art. 184 Res. 0330/2017

Teniendo en cuenta las suposiciones básicas, se acoge por conveniencia el diseño de dos reactores, cada uno con un solo separador trifásico. Para ello, se cambia la geometría de cuadrado o cilíndrico por uno de área rectangular adaptado a características de operatividad de este tipo de reactores.

En razón a ello, se plantea:

Ancho total de los dos reactores = 9.40 m (4.70 cada uno)

Longitud se calcula de acuerdo a la forma del reactor, pues se deben recalcular áreas para el volumen de reactor calculado, es decir, 140.94 m³ (70.47 m³ para cada uno. En el aparte siguiente se obtiene la longitud del reactor de acuerdo a la geometría indicada y que se presenta en plano levantado en Autocad.

8.3.3.1 *Dimensionamiento de zonas*

Se definen dos zonas principales: Zona de Digestión y Zona de sedimentación (y separación de fases).

Caudal para un reactor = 2.92 l/s (10.53 m³/h)

Volumen para un reactor = 84.22 m³

Altura total del reactor = 5.4 m

Altura lámina de agua = 5.0 m

Ancho superior del reactor = 4.70 m (supuesto)

La zona de sedimentación se ubica en la parte superior y la de digestión en la parte inferior, ambas con una altura de 2.50 m, pero el ancho se reduce a 2.50 m en la zona de digestión para una mayor eficiencia en razón a un mejor contacto entre las partículas.

La altura de la zona de sedimentación se selecciona en 2.50 m ya que según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017, este es el valor de la altura que es ocupada por el separador trifásico (GLS). De acuerdo al mismo artículo y resolución, el ángulo de las paredes del separador (GLS) es de 45° y la velocidad ascensional líquida máxima permitida es de 1 m/h.

Altura del separador, debe corresponder al 30% de la altura de la lámina de agua.

De donde:

$H = h_{GLS}/h = 30\%$, despejando y remplazando por la altura del reactor:

$h_{GLS} = 0.3 \times 5.4 = 1.62$ (Que cumple con % con respecto de la lámina de agua)

A un metro de la losa superior hasta el punto donde termina la zona de digestión se construye la pendiente a ambos lados del reactor, en un ángulo superior a los 45°. Para longitud de catetos de 1.50 y 1.10, por las hipotenusas bajan los lodos que van separándose como sedimentos.

En el fondo del reactor por todo el centro se construye canal de 0.25x 0.40 de área por donde entra tubería de 6 pulgadas con las aguas residuales a tratar.

Para el cálculo de la longitud se calculan los volúmenes en las diferentes zonas, con L como incógnita e igualado al volumen total del reactor calculado inicialmente, así:

$V1 = 1.0 \text{ m} \times 4.70 \text{ m} \times L = 4.70 \text{ m}^2 \times L$ (parte superior en la zona de sedimentación)

$V2 = 1.53 \text{ m} \times ((4.70 \text{ m} + 2.50 \text{ m})/2) \times L = 5.51 \text{ m}^2 \times L$ (inferior de la zona de sedimentación)

$V3 = 1.63 \text{ m} \times 2.50 \text{ m} \times L = 4.08 \text{ m}^2 \times L$ (Superior zona de digestión)

$V4 = 1.00 \text{ m} \times ((2.50 \text{ m} + 0.40 \text{ m})/2) \times L = 1.45 \text{ m}^2 \times L$ (Inferior zona de digestión)

$V5 = 0.25 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times L = 0.10 \text{ m}^2 \times L$ (Canal de llegada tubería)

$V = \text{volumen del reactor} = 84.22 \text{ m}^3 = 15.84 \text{ m}^2 \times L$

Al despejar: $L = 84.22 \text{ m}^3 / 15.84 \text{ m}^2 = 5.32 \text{ m}$ (Longitud del reactor)

Con la longitud del reactor se tiene longitud del separador trifásico y de la tubería que alimenta el agua residual por el fondo para que ascienda hasta la zona de separación de fases.

El área transversal del reactor es variable de acuerdo a la zona de donde se ubique, así, el área transversal en la línea del fondo del separador GLS, es:

A reactor en bases SGLS = (ancho reactor en la base del separador) * longitud del reactor

A reactor en bases SGLS = (3.38 m) *(5.32 m) = 17.98 m²

8.3.3.2 ***Separador de tres fases***

El separador de gas, sólido y líquido es un dispositivo esencial que necesita ser instalado en la parte superior del reactor. El principal objetivo de este separador es mantener el lodo anaeróbico dentro del reactor, permitiendo al sistema ser operado con un elevado tiempo de retención de sólidos (elevada edad de lodo). Esto es inicialmente logrado separando el gas contenido en la mezcla líquida, permitiendo como consecuencia, el mantenimiento de las condiciones óptimas de sedimentación

Una vez que el gas es efectivamente eliminado, el lodo puede ser separado del líquido en la zona de sedimentación, y luego devuelto a la zona de digestión.

Diseño del separador GLS

Los parámetros básicos para el diseño del separador GLS son los siguientes:

- a) la velocidad ascensional líquida máxima permitida en el punto más bajo del GLS (Vasc en el GLS). Según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017 debe tener una velocidad de 1 m/h
- b) el ángulo de las paredes del separador GLS. Según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017 debe tener un ángulo de inclinación de 45°
- c) la proporción de la altura del reactor que es ocupada por el separador GLS (la “relación de alturas”). Según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017 debe tener una altura de 2.5 m.

Área basal total del separador GLS:

El área disponible para el paso del líquido entre las unidades de separadores GLS se denomina área de apertura (A apertura). Esta área está situada en el punto más bajo del GLS y es el área mínima necesaria para el paso del líquido por este punto del reactor. El A apertura se calcula en función de una velocidad ascensional máxima del líquido permisible en este punto

$$\mathbf{A \text{ apertura} = Q / Vasc \text{ GLS} \quad \text{Ecuación 23}}$$

Donde:

A apertura = área de pasaje de líquido en la base del separador trifásico (m²)

Q = caudal de líquido (m³/h)

Vasc GLS = máxima velocidad ascensional permisible de líquido a la altura de la base del separador trifásico (m/h).

El área del separador trifásico (A_{GLS}):

Se obtiene a partir del área transversal del reactor en la base del separador y el área de la apertura entre el trifásico y las paredes del reactor.

$$\mathbf{A_{GLS} = A \text{ reactor} - A \text{ apertura} \quad \text{Ecuación 24}}$$

Ancho del separador trifásico W_{GLS}:

Se obtiene de la relación entre el área del separador y la longitud del separador, la cual, tiene correspondencia con la longitud del reactor.

$$\mathbf{W_{GLS} = A_{GLS} / L_{GLS} \quad \text{Ecuación 25}}$$

Altura del separador GLS:

La altura del separador de GLS (h_{GLS}) se puede calcular de dos maneras. La primera manera es suponer una cierta relación entre la altura del separador y la altura total del reactor.

Esta relación se llama “**relación de alturas**” (**H**). El valor de h sugerido en la bibliografía está entre 0.15 y 0.30. Eso significa que el separador GLS debe ocupar entre el 15 y el 30% de la altura total del reactor. Si $H = 0.30$, para una altura de reactor de 5.4 m, la altura del separador GLS será 1.62 m. La altura calculada para el separador puede ser redondeada hacia arriba y se recalcula el H final.

El separador trifásico se puede desplazar levemente hacia arriba o hacia abajo si las consideraciones prácticas así lo requieren. Es importante considerar que la altura total del separador debajo del nivel de líquido en el reactor (“ h_{GLS} ”) debe ser cercana al 30% de la altura total del reactor. Si el separador se debe mover hacia arriba, se puede adicionar un suplemento en la base para compensar la diferencia. En este caso, la altura máxima permitida del suplemento adicional, será la distancia entre la parte superior del GLS y el nivel del agua. No hay tal limitación si el GLS necesita ser movido hacia abajo porque la altura del domo o cúpula de recolección de biogás que se encuentra sobre el agua se puede ajustar según se desee. Esta cúpula del separador puede sobresalir por fuera del nivel del agua según se necesite por razones prácticas tales como facilidad de acceso, sencillez para la conexión de cañerías, etc. Para separar fácilmente el gas del líquido, particularmente cuando se espera una cierta formación de capa de espuma en la superficie del líquido al interior del reactor, es esencial mantener un interfaz suficientemente grande de líquido/gas dentro del separador. La liberación del gas está garantizada incluso si no hay sobrepresión interna en el separador GLS porque el área de la cúpula se calcula para poder evacuar todo el gas producido. La presión de gas en la cúpula podría ser de hasta 40-60 cm por sobre la presión de aire externa.

Ángulo de las paredes del separador

Una vez definidas la base y la altura de cada separador GLS, se puede calcular el ángulo de la pared. Se recomienda generalmente que este ángulo esté entre 45 y 60° para que actúe como un buen dispositivo de sedimentación de lodos. La resolución 0330 de 2017 recomienda 45°.

En la siguiente tabla se muestran los cálculos descritos y los derivados de estos para complementar el dimensionamiento del reactor

Tabla 17. Diseño de reactor UASB, Longitud del Reactor y dimensionamiento separador trifásico
Elaboración propia

DIMENSIONAMIENTO PARA CÁLCULO DE LONGITUD DEL REACTOR Y SEPARADOR TRIFÁSICO						
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR UN SOLO REACTOR	VALOR UN REACTOR DE DOS		FORMULA
CÁLCULOS PARA LONGITUD DEL REACTOR						
	Parte superior zona sedimentación	m ³			$V1 = 4.70 * L$	$V1 = 1.0 \text{ m} * 4.70 * L$
	inferior de la zona de sedimentación)	m ³			$V2 = 5.51 * L$	$V2 = 1.53 \text{ m} * ((4.70 \text{ m} + 2.50 \text{ m})/2) * L$
	Superior zona de digestión	m ³			$= 4.08 * L \text{ m}^2$	$V3 = 1.63 \text{ m} * 2.50 \text{ m} * L$
	Inferior zona de digestión	m ³			$V4 = 1.45 * L \text{ m}^2$	$V4 = 1.00 \text{ m} * ((2.50 \text{ m} + 0.40 \text{ m})/2) * L$
	Canal de llegada tubería	m ³			$V4 = 0.10 * L \text{ m}^2$	$V5 = 0.25 \text{ m} * 0.40 \text{ m} * L$
	Volumen del reactor	m³	168,44	84,22	$V = 15,84 \text{ L m}^2$	Sumas de zonas, volumen calculado Tabla 13
	Longitud el Reactor	m³	5,32	5,32	$L = 84.22 \text{ m}^3 / 15.84 \text{ m}^2$	Por despeje de fórmula
DIMENSIONAMIENTO DEL SEPARADOR TRIFÁSICO						
	la velocidad ascensional líquida máxima permitida en el punto más bajo del GLS	m/h	1	1	Vasc GLS	Art. 191 de la Res. 0330 de 2017
	el ángulo de las paredes del separador GLS.	Grados	45	45		Art. 191 de la Res. 0330 de 2017
	Altura del reactor que es ocupada por el separador GLS	m	2,5	2,5		Según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017
	Ancho del reactor en base del separador	m	6,76	3,38		Medido en plano
	Area del reactor en base del separador	m ²	35,96	17,98		$Ar \text{ en base GLS} = \text{Base} * \text{Largo}$
	El área del separador trifásico (A_{GLS}) - Base	m ²	21,05	10,53		$A_{GLS} = Q / \text{Vasc GLS}$
	Área paso entre separador y lado reactor, A_{aper}	m ²	14,91	7,45	AGLS	$A_{apertura} = A_{reactor} - A_{GLS}$
	Altura del separador GLS	m	1,62	1,62	hGLS	$H = h_{GLS} / h_{lamina \text{ agua}} = 30\%$
	Ancho del separador trifásico W_{GLS}	m	4,73	2,37	WGLS	$W_{GLS} = A_{GLS} / L_{GLS}$

8.3.3.3 Área de Interfase Ga Líquido

El biogás deja el reactor a través de tuberías de escape que se deben instalar en la parte superior de los colectores trifásicos. En esta tubería se instala una válvula que permite el purgado o ingreso de aire durante el llenado y vaciado del reactor. El conducto del gas pasa a través de una trampa de agua para permitir regular la presión dentro del colector de gas y evitar que ingrese agua en la tubería del biogás. Encima de los colectores de gas se podría instalar una válvula adicional para casos de emergencia (por ejemplo, obstrucción de las tuberías de conducción de biogás).

La velocidad de liberación del biogás debería ser suficientemente elevada para superar la posible capa de lodo, pero lo suficientemente baja para rápidamente liberar el gas del lodo, sin permitir que el lodo quede atrapado y consecuentemente acumulado en la tubería de salida del gas. Es recomendable una velocidad de liberación mínima de $1.0 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^2 \cdot \text{h}$ y máxima de $3.0 \text{ a } 5.0 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^2 \cdot \text{H}$.

La velocidad de liberación del biogás se establece según la siguiente expresión:

$$K_g = Q_g/A_i \quad \text{Ecuación 26}$$

Dónde:

K_g = Velocidad de liberación del biogás ($\text{m}^3 \text{ gas/m}^2 \cdot \text{h}$)

Q_g = Producción esperada de biogás (m^3 / h)

A_i = Área de la interfase gas líquido (m^2)

Evaluación de la producción de biogás

La producción de biogás puede ser evaluada a partir de una estimación de la carga DQO del influente al reactor que es convertido a metano gas. La porción de DQO convertida en gas metano se puede determinar según:

$$DQO_{CH_4} = Q \cdot (S_o - S) - Y_{obs} \cdot Q \cdot S_o \quad \text{Ecuación 27}$$

Dónde:

DQO_{CH_4} = carga de DQO convertida en metano (kg DQO_{CH_4} /d)

Q = caudal medio del influente (m^3 /d)

S_o = concentración del influente DQO (kg DQO/ m^3)

S = concentración DQO del efluente (kg DQO/ m^3)

Y_{obs} = coeficiente de producción de sólidos del sistema, en términos DQO (0.11 to 0.23 kg DQO sludge/kg DQO appl).

Para este diseño la concentración de DQO del influente (S_o) se obtiene de los valores típicos para aguas residuales dados por la Resolución 0330 de 2017, ya indicados en la tabla 13 y una relación de DQO/DBO de 1.5, como se indica en la tabla de parámetros.

La masa de metano (kg DQO_{CH_4} /d) puede ser convertido en producción volumétrica (m^3 CH_4 /d) usando las siguientes ecuaciones:

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / K(t) \quad \text{Ecuación 28}$$

Dónde:

Q_{CH_4} = producción volumétrica de metano (m^3 /d)

K(t) = factor de corrección de la temperatura operacional del reactor (kg DQO/ m^3)

$$K(t) = P \cdot K_{DQO} / R \cdot (273 + T) \quad \text{Ecuación 29}$$

Dónde:

P = Presión atmosférica (1 atm)

K_{DQO} = DQO correspondiente a una mol de CH_4 (64 g DQO/mol)

R = constante de gas (0.08206 atm.L/mole.K)

T = temperatura operacional del reactor ($^{\circ}C$)

Una vez que la producción teórica de metano se obtiene, la producción total de biogás puede ser estimada a partir del contenido esperado de metano.

Con el valor del área de la interfase se calcula en ancho de dicha interfase ubicado en el separador trifásico. La longitud indicada corresponde a la longitud del reactor, que resulta aproximadamente la misma para el separador trifásico. Los cálculos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 18. Diseño de reactor UASB, área y ancho de la interfase Gas – Líquido en el separador
Elaboración propia

PARÁMETRO	UND	VALOR UN SOLO REACTOR	VALOR UN REACTOR DE DOS		FORMULA
ÁREA Y ANCHO DE LA INTERFASE LÍQUIDO GAS					
DQO del influente	kg DQO/m ³	0,228		So	Permitido norma: Res. 631 de 2015
DQO del efluente	kg DQO/m ³	0,180		S	Permitido norma: Res. 631 de 2015
Caudal del Influyente	m ³ /d	505,32		Q	
Coefficiente de producción de sólidos del sistema	kg DQO lodo/kg DQO app	0,15	Yobs	promedio	0,11 a 0,23 kg DQO lodo/kg DQO app
Carga de DQO convertida en metano	kg DQO _{CH4} /d	6,73			$DQO_{CH4} = Q * (So - S) - Y_{obs} * Q * So$
Producción Volumétrica de Metano	m³ CH₄/d	2,66	Q_{CH4}	Qg	$Q_{CH4} = DQO_{CH4} / K(t)$
Factor de Corrección por temperatura operacional del reactor	kg DQO/m ³	2,53	K(t)		$K(t) = P * K_{DQO} / R * (273 + T)$
DQO correspondiente a 1 mol de metano	64 g/mol)	64	KDQO		
Temperatura de operación del reactor	$^{\circ}C$	35			Valor de referencia para reactores
Presión atmosférica	atm	1	P		
Constante universal de gas ideal	atm*L/mol*K	0,08206	R		
Área de la interfase gas - líquido	m ²	2,66	Ai		$Ai = Qg / Kg$
Velocidad de liberación del Biogás	m ³ gas/m ² .h	1	Kg		Velocidad de liberación mínima 1 m ³ gas/m ² *h; máxima de 3,0 a 5,0 m ³
Largo del separador	L	5,32			
Ancho de la interfase Gas - líquido	m	0,50		a	$a = Ai / L$

8.3.4 Separación de Productos del Reactor

Separación de sólidos

Tras la separación de gases, las partículas de líquido y sólido que dejan el lecho de lodo tienen acceso a la zona de sedimentación. Las condiciones ideales de sedimentación de las partículas de sólido ocurren en esta zona, debido a las bajas velocidades de la corriente ascendente en ausencia de burbujas de gas.

El retorno del lodo retenido en la zona de sedimentación a la zona de digestión no necesita ninguna medida especial, siempre y cuando se sigan las siguientes pautas básicas:

- Instalación de deflectores, localizados inmediatamente debajo de las aperturas para la zona de sedimentación, para permitir la separación del biogás, y que únicamente líquidos y sólidos entren en la zona de sedimentación
- La construcción de paredes en la zona de sedimentación con pendientes siempre mayores de 45° , adoptando profundidades de las zonas de sedimentación que varían de 1.5 a 2.0 m.

Recogida de efluentes

El efluente se recoge del reactor por su parte superior, en la zona de sedimentación. Los dispositivos normalmente utilizados para la recogida de los efluentes son platos con placas con vertederos muescas en V y tubos perforados sumergidos.

En la figura 5, construida en AutoCAD con la información de cálculos de este proyecto, se muestra todo el dimensionamiento del reactor y sus líneas de entrada

y salida. Adicionalmente, es preciso considerar aspectos de toma de muestra, evacuación de lodos, como se indica a continuación.

Sistema de gas

El biogás producido en el reactor debe ser recogido, medido y, posteriormente, usado o quemado. El sistema de eliminación de biogás de la interfase líquido-gas dentro del reactor consiste en:

- Tubería de recolección
- Compartimento sellado hidráulicamente y purga de biogás
- Medidor de biogás
- Depósito de biogás Cuando el biogás no es usado, el depósito de gas se reemplaza por una válvula de seguridad y un quemador, preferentemente localizado a una distancia segura del reactor.

Toma de muestra de lodos y sistema de descarga

El diseño de un reactor debe componerse de un grupo de válvulas y tuberías que permita tanto la toma de muestras como la descarga de sólidos presentes en el reactor. El sistema de toma de muestras normalmente consiste en una serie de válvulas instaladas a lo largo de la altura de la zona de digestión, lo que permite monitorizar el crecimiento y la calidad de la biomasa en el reactor. Una de las rutinas operacionales más importante en el sistema de tratamiento es la evaluación de la cantidad y actividad de la biomasa presente en el reactor, según dos básicos mecanismos:

- Determinación del perfil de sólidos y masa de los microorganismos presentes en el sistema
- Evaluación de la actividad específica metanogénica de la biomasa

La descarga del sistema de lodos está destinada para la eliminación periódica del exceso de lodos producidos en el reactor, permitiendo también la eliminación de materia inerte que se pueda acumular en el fondo del reactor. Al menos dos puntos de eliminación de lodos deben ser planeados, uno cerca del fondo del reactor y otro aproximadamente 1.0 ó 1.5 m sobre el fondo para permitir mayor flexibilidad operacional.

Producción de lodos

La velocidad de acumulación de sólidos depende esencialmente del tipo de efluente a tratar y es mayor cuando las aguas residuales tienen una concentración elevada de sólidos en suspensión, especialmente de sólidos no biodegradables. En el caso de tratar efluentes solubles, la producción de un exceso de lodo es muy baja y generalmente pocos problemas se encuentran en el manejo, almacenamiento y vertido del lodo.

La estimación de la producción de masa de lodo en un reactor UASB se puede observar según la siguiente ecuación:

$$P_s = Y \cdot \text{COD}_{\text{app}} \quad \text{Ecuación 30}$$

Dónde:

P_s = producción de sólidos en el sistema (kg SST/d)

Y = coeficiente del rendimiento de producción de sólidos (kg TSS/ kg COD_{app})

COD_{app} = Carga de DQO aplicada al sistema (kg DQO/d)

Los valores reportados de Y para el tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas varían entre 0.10 y 0.20 kg SST/kg DQO_{app}.

La estimación de la producción volumétrica de lodo puede ser realizada según la siguiente expresión:

$$V_s = P_s/(y)*(C_s/100) \quad \text{Ecuación 31}$$

Dónde:

P_s = producción volumétrica de lodo (m³ /d)

y = densidad de lodo

C_s = concentración de lodos en el sólido (%)

En la Tabla 16 se obtienen los sólidos producidos en el reactor.

Elaboración propia



8.4 SISTEMA DE POSTRATAMIENTO

Los reactores UASB no eliminan totalmente los agentes contaminantes de las aguas residuales. Por lo tanto, dependiendo de las exigencias legales locales, puede ser necesario incorporar algunos procesos de post-tratamiento con la finalidad de remover la DQO restante, eliminar microorganismos patógenos, y reducir la concentración de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Lo anterior se logra mediante procesos aeróbicos, tales como los llevados a cabo en lagunas, en zanjas o en reactor aeróbico de lodos activado con lecho de soporte fijo.

El reactor aeróbico utiliza proceso de aireación, el cual, consiste en poner el agua en contacto íntimo con el aire. Para los procesos de tratamiento de aguas residuales, el objetivo principal de la aireación es el de proporcionarle a los microorganismos el oxígeno necesario para que realicen sus procesos de transformación y degradación de la materia orgánica contaminante.

El reactor es alimentado con las aguas digeridas anaeróbicamente del reactor UASB, la cual, lleva lodo activado de arrastre que no alcanza a precipitar en el anaeróbico. Además, este reactor puede tratar los gases ricos en metano procedentes del UASB como una alternativa ambiental consistente en no enviar a la atmósfera gas metano por sus efectos invernadero. El metano en el reactor aeróbico oxida produciendo dióxido de carbono y agua que no tienen problemas de efecto invernadero.

Reactores aerobios (o combinados) de lecho fijo sumergido, son particularmente adecuados para aquellas plantas de tratamiento que presenten variaciones en la calidad y caudal del afluente, o bien en aquellas en que la carga orgánica del mismo no permita una cantidad adecuada de biomasa dentro del reactor. Esto es posible porque la biomasa total se compone de aquella en estado suspendido y la que forma parte de la biopelícula, esta última representa la mayor parte de la biomasa total y

es retenida dentro del reactor, lo que permite una mayor tasa de remoción de la materia orgánica.

El medio de soporte en este tipo de sistemas generalmente está compuesto de “celdas” o paneles plásticos fijos al reactor, pero también se utilizan, “empaques de medios plásticos con distribución al azar” en donde existe una mayor diferenciación entre las condiciones sobre el medio de soporte, logrando a su vez una mayor diversidad en los microorganismos presentes. Otros estudios sobre estos sistemas demuestran que, al utilizar difusores de burbuja fina y medios plásticos como medio de soporte de la biopelícula, se obtienen mejores resultados en la eficiencia de remoción, ya que retienen las burbujas de oxígeno, incrementando el tiempo de contacto, a la vez que se reduce la posibilidad de atascamientos por parte de la biomasa.

En el postratamiento se recomienda un sedimentador seguido del reactor aeróbico para precipitar los lodos generados en el sistema. Los lodos son tratados mediante filtración bien para su uso en compostajes o para su disposición final.

PROPUESTA PARA SISTEMA NUEVA FLORES

Para los diseños de los sistemas de Nueva Flores, teniendo en cuenta las limitantes de espacios y las dificultades en la gestión de recursos, se ha propuesto:

- Construcción de tratamiento preliminar compuesto por rejilla, desarenador y canaleta Parshall para el aforo de caudales
- Dos reactores UASB
- Una unidad de postratamiento con funciones de reactor aeróbico y sedimentador
- Manejo de lodos y gases

El diseño del reactor aeróbico se lleva a cabo con las características del agua residual típica recomendada por la resolución 0330 de 2017, por los niveles aceptables por la resolución 631 de 2015 y las recomendaciones bibliográficas.

Inicialmente, se dimensiona para reactor aeróbico de lecho fijo sumergido, de tal forma que los cálculos se basan en las cargas y productos obtenidos de las reacciones de oxidación para obtener el volumen efectivo del tanque. A este volumen se le adiciona un volumen para lodo decantado, el cual será extraído periódicamente hacia un tanque de lodos. Para una mayor eficiencia en el contacto entre la materia orgánica y el oxígeno y una mejor separación de lodos, se utilizan módulos de sedimentación de flujo cruzado de 1.04 m de alto cubriendo toda el área del tanque. Los módulos de sedimentación acelerada están contruidos en ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) que tienen inclinación en los panales de 60 grados, color azul o negro y pueden manejar cargas superficiales de 120 a 300 m³/m²*día, el flujo a través de los conductos tiene un número Reynolds < 200 es decir, laminar evitando de esta manera el arrastre y suspensión de los lodos sedimentados. El trabajo de bajas cargas obtenido para el reactor aeróbico (unos 25 m³/m²/d) permite una mayor eficiencia en los procesos biológicos, garantizando una velocidad menor a 1 cm/s, de acuerdo a la Resolución 0330 de 2017 para sedimentadores de flujo vertical.

Los módulos se ubican dejando un espacio mínimo de 1.60 m en la parte inferior, de tal forma que se permita el ingreso a una persona para mantenimiento interno. Los módulos tienen 1.04 m de profundidad y encima de ellos queda el agua digerida y clarificada la cual se recibe en canaletas de poliéster reforzado en fibra de vidrio o construcciones similares, ubicadas de tal forma que cada lado cubra áreas similares. Estas canaletas se usarán en el reactor UASB ubicadas a lo largo de la parte externa de los separadores trifásico.

8.4.1 Cargas y Remoción de contaminantes

En la Tabla 19 se calculan las cargas al UASB, su remoción y cargas al reactor aeróbico con sedimentación. Las cuales, son a base para el dimensionamiento del reactor aeróbico y su adaptación funcional como sedimentador.

Tabla 19. Diseño de reactor Aeróbico con sedimentación. Cargas y remoción

Elaboración propia

BALANCE DE CARGA EN EL SISTEMA					
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR	SÍMBOLO	FORMULA
	CAUDALES DE DISEÑO				
	Caudal real de diseño Agua Residual	m ³ /DIA	505,32	V	
	Caudal real de diseño Agua Residual	m ³ /hr	21,05	Qh	V/24
	Q. Pico Máx Actual	m ³ /hr	84,22	QMAX	
	DBO Afluente	mg/l	152		
	Carga DBO afluente	kg/dia	76,89		A comparar abajo
	CARGAS AL REACTOR ANAEROBIO - UASB				
	CARGA ORGÁNICA/HAB	g/hab-dia	80,00	q	
	DBO5 TOTAL	kg DBO/dia	76,89	LT	q*P/1000
	REDUCCIÓN DE LA DBO	%	90	Eb	
	CARGA MÁSCA	kg DBO/kg-MLSS-D	0,10	Ls	0,05 - 0,25
	Concentración lodos activados	KG/M3	4	M	será lodos activados aplicados 3 - 6
	CARGA NITRÓGENO	g N/ca-dia	8,40	n	
	N-NH4 TOTAL	kg NH4-N/dia	8,07	LN	n*Pp/1000
	CARGA HORARIA N-NH4	kg NH4-N/hr	0,81	LNd	LN/10
	REMOCIÓN EN TRATAMIENTO PRELIMINAR Y UASB - CARGAS AL SEDIMENTADOR AIREADO				
	REMOCIÓN EN PRIMARIO Y UASB	%/100	0,5	rp	Supuesta
	CARGA AL TANQUE DE AIR.	kg DBO/DIA	38,45	L	LT*rp
	PESO SECO LODOS	kg-MLSS	384,46	WL	L/Ls
	PRODUCCIÓN DE LODOS	kg MLSS/DIA	12,22	PL	(1/2)*(Ls**0,23)*(Eb/100)*L/2
	PESO SÓLIDOS	%	0,5	PS	
	PESO DE AGUA	%	99,5	PA	
	DENSIDAD DE LODOS	kg/m3	5,00	DL	(PS/100)*1000
	VOLUMEN DE LODOS	m3 MLSS/DIA	2,44	VL	PL/DL
	N LODO EXCESO	kg N/dia	0,73	Nlex	PL*6/100
	EDAD DEL LODO	DIAS	31,45	Le	WL/PL

8.4.2 Dimensionamiento Tanque de Aireación Sedimentación

Con la información de la Tabla 18 se diseña el tanque de aireación, adaptando su funcionamiento para llevar a cabo la sedimentación. Para la sedimentación se incluyó al diseño del reactor aeróbico una tolva para lodos sedimentados y como lecho fijo se utilizó módulos de sedimentación acelerada, en la Tabla 20 se presentan los cálculos realizados.

Tabla 20. Diseño de reactor Aeróbico con sedimentación. Dimensionamiento

Elaboración propia

DIMENSIONAMIENTO TANQUE AIREACIÓN CON SEDIMENTACIÓN					
VOLUMEN EFECTIVO TANQUE	m3	96,11	VT	WL/M	
PARA TANQUE CUADRADO:					
BORDE LIBRE	m	0,4	BL		
ALTURA TOTAL	m	5	HT	H+BL	
LADO DEL TANQUE	m	4,75	I	AT**0,5	
PROF. LAMINA DE AGUA	m	4	H	SE RECOMIENDA DRAFT TUBE	
ÁREA TANQUE AIR.	m2	96,11	AT	VT/H	
SE CONSTRUYE TOLVA PARA LODOS:					
ANCHO SUPEIOR	m	4,9			
ANCHO INFERIOR	m	0,4			
PENDIENTE	GRADOS	15,00			
ALTURA TOLVA	M	0,60			
VOLUMEN TOLVA	M3	7,79			
VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE	M3	103,91			
ALTURA TOTAL LÁMINA DE AGUA	M	4,60			
MÓDULOS DE SEDIMENTACIÓN ACELERADA: Material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), inclinación 60° color azul o negro con protección UV. Cal 40 Carga superficial 120 a 300 m3/m2*día flujo ascendente tipo laminar (flujo cruzado)					
Largo	m	4,90			
Ancho	m	4,90			
alto	m	1,04			
Altura del Fondo del cono a la base módulo	m	2,40		Altura libre por debajo debe ser por lo menos 1.60 m	
Distancia de parte superior módulo a borde interno del tanque	m	1,21			
altura total del tanque	m	4,65 m			

A partir de la anterior información, se buscan los requerimientos de oxígeno, su inyección al sistema y la capacidad del soplador requerido. Los cálculos se indican en la Tabla 21.

Tabla 21. Diseño de reactor Aeróbico con sedimentación. Oxigenación

Elaboración propia

	TIPO DE AIREACIÓN	-	EXTENDIDA		
	t. AIREACIÓN TEÓRICO	HORAS	4,93	TTAT	VT/Qhp
	t. AIREACIÓN TEÓRICO	HORAS	4,93	TTAR	VT/Qhp SI >18 o <24
	CARGA VOLUMÉTRICA	Kg DBO/m3-d	0,40	CV	L/VT < 0,7
	PROF. LAMINA DE AGUA	m	4,6	H	SE RECOMIENDA DRAFT TUBE
	ÁREA TANQUE AIR.	m2	22,59	AT	VT/H
	OXIGENACIÓN				
	TASA O2 RESPIRACIÓN M.O.	Kg O2/Kg DBO	0,5	a	
	TASA O2 RESPIRACIÓN ENDÓGENA	Kg O2/Kg MLSS-d	0,1	KRE	
	O2 NITRIFICACIÓN	Kg N/día	7,34	LNOX	LN-Nlex
	TASA DE O2 PARA OXIDAR N	Kg O2/Kg N	3,5	ON	
	HORAS MAXIMA CARGA	Horas	24	h MAX	
	CARGA MÁSCA HORARIA	factor (1/Horas)	0,04	hhr	1/Hmax
	CONSUMO O2 LODOS ACTIVADOS				
	TASA O2 RESPIRACIÓN M.O.	kg O2/hr	0,72	O2S	hhr*a*Eb/100*L
	TASA O2 RESPIRACIÓN ENDÓGENA	kg O2/hr	1,60	O2E	(1/24)*KRE*WL
	O2 NITRIFICACIÓN	kg O2/hr	1,07	O2N	hhr*ON*LNOX
	CONSUMO TOTAL O2 LODOS ACT.	kg O2/hr	3,39	OL-h	O2S+O2E+O2N
	CAPACIDAD DE OXIGENACIÓN				
	CONCENTRACIÓN O2 (10°C)	g/m3	11,3	CL10	
	CONCENTRACIÓN O2 ACTUAL (14°C)	g/m3	8	CLT	6 PARA 2500 msnm y 8 a 0 msnm
	CONCENTRACIÓN O2 TANQUE	g/m3	2	CL	
	FACTOR USO O2 LODOS	-	0,9	A	
	FACTOR CORRECCIÓN TEMP.		0,8299	B	ver tablas
	CAPACIDAD DE OXIGENACIÓN	Kg O2/hr	5,89	Coh	(Oih/A)*(CL10/(CLT-CL))*B
	CWTR	Kg O2/BHP-HR	1,7		AQUATURBO
	POTENCIA	HP	3,47		
	DEMANDA DE HP		4,08	HP	
	SUMINISTRO DE AIRE				
	SUMERGENCIA DIFUSORES	m	4	Di	
	CONCENTRACIÓN O2 AIRE	Kg O2/m3 aire	0,28	CA	
	RAZÓN FLUJO DE AIRE ESPECÍF.	m3 aire/hr-m tubo	12	f	
	RAZÓN DE ABSORCIÓN ESPECÍF.	%	5,4	n'	
	RAZÓN DE ABSORCIÓN	%	21,6	n	Di*n'
	CANTIDAD DE AIRE OXIG.	m3 aire/hr	97,43	AR	(Coh*100)/(n*CA)
	AIRLIFT				
	TASA DE RETORNO DE LODOS	%	20	Re	
	CAUDAL DE RETORNO	m3/h	4,21	Qre	Qhp*Re/100
	FACTOR AIRE RETORNO		1,2	fre	
	AIRE TOTAL REQUERIDO	m3/h	116,92	ART	(AR + AAL)*2
	AIRE TOTAL REQUERIDO	CFM	68,82	ART	
	TUBERÍA OXIGENACIÓN				
	LONG. TEÓRICA TUBERÍA OXIG.	m	8,12	Lta	(AR/f)
	LONG. TOTAL TUBERÍA OXIG.	m	8,12	Ltt	
	VELOCIDAD POR TUBERÍA	m/s	6	vt	
	DIÁMETRO TUBERÍA	in	0,63	dt	(4*(AR/3600)/(PI*vt))*0,5(100/12)
	CAPACIDAD TEÓRICA SOPLADOR				
	DENSIDAD AIRE	kg/m3	1,2	da	
	POTENCIA TEÓRICA	HP	2,52	P	(ART/3,6)*(Di+1)*da/(76*0,6)

Figura. 9 Vista lateral de los dos reactores UASB diseñados y del Reactor Aeróbico con Sedimentación

Elaboración propia

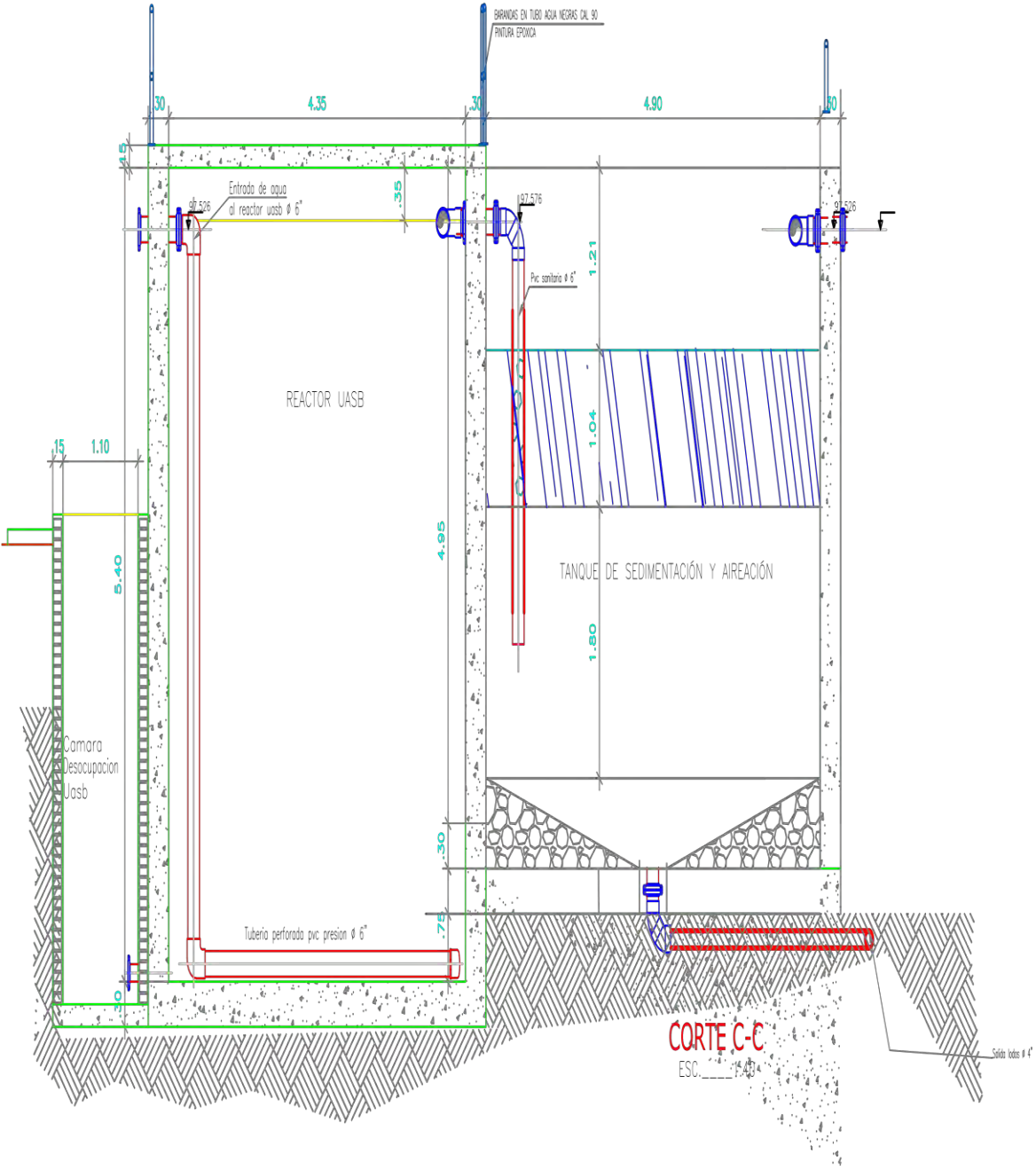
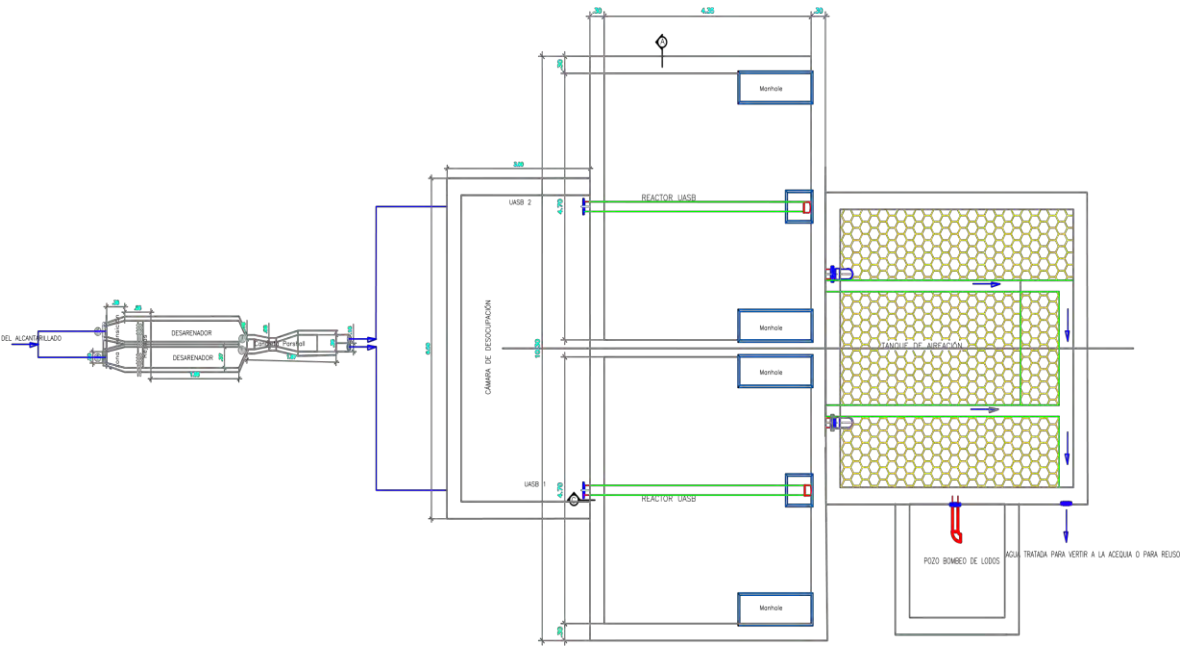
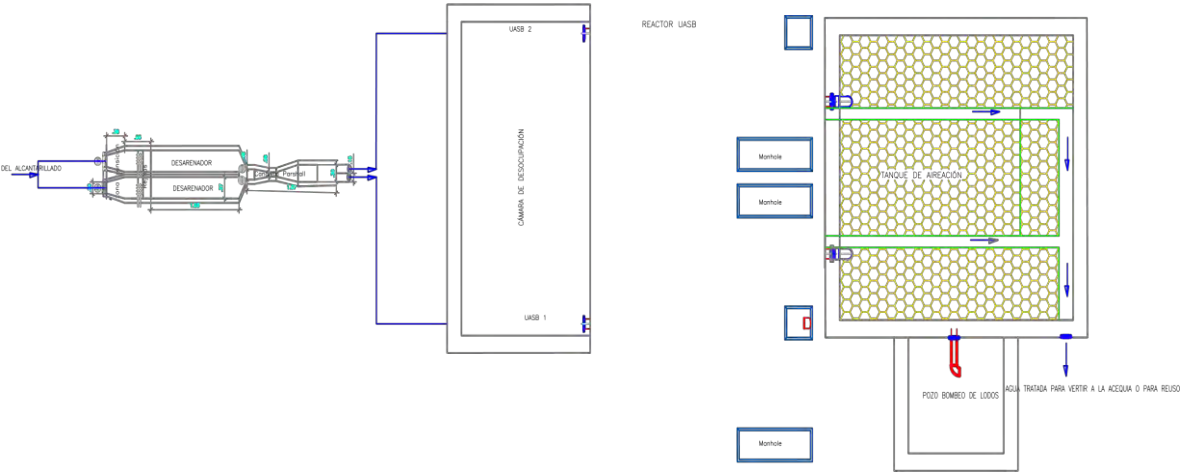


Figura. 9 Vista corte transversal y planta del sistema de tratamiento
Elaboración propia



CORTE TRANSVERSAL GENERAL

ESC. _____ 1:40



VISTA PLANTA

ESC. _____ 1:40

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este proyecto es una contribución a la solución de problemas en una población vulnerable e históricamente aislada de las bondades de vivir en ambientes saludables. Se planteó una solución para la población en la colección de sus aguas servidas y con su posterior tratamiento con el fin de no afectar las fuentes hídricas con vertidos sin su debido tratamiento que permita cumplir con la normatividad en lo concerniente a la no afectación de la calidad de las fuentes hídricas superficiales y profundas.

Se ha planteado un diseño operacional, como corresponde a la ingeniería ambiental y sanitaria, que se constituya en el insumo para las actividades que deben ser desarrolladas por otras profesiones de acuerdo con sus objetivos académicos. Así, el diseño estructural estará a cargo de ingenieros civiles calculistas, la determinación de la capacidad portante de los suelos donde se levantarán las estructuras y la determinación del nivel freático y su influencia en la construcción, corresponderá a ingenieros geotécnicos, el cálculo de motores e instalaciones eléctricas al ingeniero eléctrico y, así sucesivamente para el desarrollo de un proyecto para la gestión de recursos. El levantamiento topográfico, del cual anexamos la cartera, corresponde a información levantada por topógrafo acreditado con tarjeta y calibración de equipo vigentes.

De acuerdo con lo planteado, las conclusiones y recomendaciones consideradas en los apartes siguientes, corresponden al diseño operacional desarrollado en este proyecto.

9.1 CONCLUSIONES

- Los centros poblados rurales no son planeados, su origen surge como una consecuencia del desarrollo de actividades. Así, Nueva Flores es el desarrollo de un punto de encuentro de los campesinos que bajan de la

montaña con sus productos para ser llevados a las ciudades cercanas (Codazzi principalmente) y la necesidad habitacional de los obreros de las fincas aledañas. Para la satisfacción de sus requerimientos en servicios públicos lo importante en su conformación es estar cerca de una fuente de agua (superficial o subterránea) y estar cerca de lotes enmontados para sus deposiciones o la construcción de pozos que se convierten en unidades individuales de alcantarillado, como un primer eslabón del desarrollo sanitario.

- En el planteamiento inicial del diseño del sistema de alcantarillado se hizo evidente el crecimiento poblacional sin planificación. En razón a ello, como solución a zonas de difícil construcción como lo es el caso de los frentes de las viviendas al lado de la carretera nacional, se planteó y desarrolló la evacuación de vertidos por la parte de atrás de las viviendas mediante la utilización de cajas comunitarias que descargan en una de las dos líneas principales del sistema de alcantarillado.
- En el planteamiento del diseño se tuvo en cuenta futuras ampliaciones, las cuales, se presentarían hacia la parte alta de la población como áreas de expansión, precisamente donde el municipio ha considerado la posibilidad de llevar a cabo proyectos de vivienda.
- Para el diseño se tuvo en cuenta la resolución 0330 de 2017 de obligatorio cumplimiento, por lo cual, el diámetro de tubería en redes es de 6" en PVC y para el emisario final en 8" PVC, en la resolución 1096 de 2000 el mínimo era de 8".
- La llegada a la zona seleccionada para la ubicación de la planta está por debajo de la cota terreno en un poco menos del metro, lo que indica que la planta se estaría profundizando en dicho valor, lo cual, debe tenerse en cuenta por las afectaciones de construcción que podrían darse por efectos del nivel freático.
- La zona seleccionada para la ubicación de la planta corresponde a terrenos del municipio de San Diego, lo cual limita dicha selección a la disponibilidad

de sitios con propiedad actual legalizada. El sitio se encuentra ubicado cerca de un arroyo donde llegarán los caudales tratados. Esta limitante se tuvo en cuenta en la selección de planta de tratamiento en lugar de sistemas de lagunas.

- La selección de planta de tratamiento con reactor UASB tuvo en cuenta las limitantes de terreno, la experiencia a nivel municipal con una planta prefabricada de similares características en el corregimiento de Los Tupes, lo cual, podría ser una alternativa para normalización de procesos de tratamiento a nivel de corregimientos y por qué no, una alternativa para solucionar problemas en la cabecera debido al alto nivel de enlodamiento de las lagunas existentes.
- los sistemas de planta de tratamiento, específicamente el utilizado en este proyecto, presentan variedad de alternativas, no solo de arreglo estructural sino para el uso de los productos derivados de los procesos anaeróbicos y aeróbicos que se han considerado en el diseño. Así, las aguas tratadas pueden utilizarse en labores agrícolas, los lodos se pueden acondicionar para su uso como abonos, materia prima en compostaje o en otros procesos donde se requieran lodos activados, el gas producido es combustible debido a la cantidad de metano producida y puede ser utilizado directamente para su aprovechamiento como combustible, emitir a la atmósfera para lo cual se aconseja su quema por su efecto invernadero o alimentarse al reactor aeróbico para su oxidación.
- Se diseñó sistema de pretratamiento para retirar material procedente del uso inadecuado del sistema de alcantarillado, tales como trapos, material de fibra, pañales, cartones, entre otros, para lo cual se instalan rejillas (en este caso solo se diseñó una pero puede ampliarse su número de acuerdo a los requerimientos posteriores; se diseñan dos desarenadores como lo recomienda la norma con el fin de retirar arenas que por lo general proceden de resumideros en patios sin piso de material; se instala canaleta Parshall como elemento de control de caudales y aforo.

- No se cuantifican cantidades de obra en la infraestructura de tratamiento porque ello solo es posible con el resultado del diseño estructural, el cual no es objeto de este proyecto ya que corresponde a la rama de la ingeniería civil. Las dimensiones dadas son tentativas para efectos de levantamiento geométrico.

9.2 RECOMENDACIONES

- Para la cuantificación presupuestal del presente proyecto se requiere del diseño estructural por lo que se recomienda encomendar la labor a un calculista estructural si se opta por su utilización para gestión de recursos
- Se recomienda instalar puntos de muestreo a lo largo de toda la altura con el fin de conocer el perfil del lodo formado. Estos puntos se ubican en la cámara de desocupación construida a la profundidad del reactor y donde se instalarían las válvulas de muestreo con acceso de escalera sobre la estructura. La desocupación para mantenimiento se haría mediante bombeo.
- Se recomienda como uso de las aguas tratadas el riego de pastos o de frutales donde la fruta se le daba quitar la cáscara.
- El gas combustible se puede recuperar tal y como se hace con un biodigestor y se puede usar para iluminar galpones de pollo o ser oxidados en el reactor aerobio con sedimentación.
- En el reactor aerobio se produce lodo activado con alto contenido de nutrientes que puede ser usado en compostaje.
- Verificar con geo eléctrica el nivel freático, puede resultar crítica una construcción en épocas de crecidas. De ser posible, para implementar el proyecto, se recomienda la adquisición de terrenos en la zona baja con el fin de mejorar las condiciones de llegada, de manejo de procesos y productos.

10.BIBLIOGRAFÍA

1. INFORME TÉCNICO SOBRE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA. LÍNEA BASE 2010. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. República de Colombia. BOGOTÁ, D. C., octubre de 2012
2. Informe técnico sobre sistema de tratamiento de aguas residuales en Colombia línea de base 2010. Superintendencia delegada para acueducto, alcantarillado y aseo; dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado. BOGOTÁ, D.C., octubre de 2012.
3. Ingeniería ambiental. J. Glynn Henry y Gary W. Heinke. Segunda edición. Pearson Education. México. 1999.
4. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial Decreto número 3440 DE 2004 octubre 21
5. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2016) REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS-SECCIÓN II TITULO D Sistema de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales domésticas y aguas lluvias. RAS – SECCION II TITULO E: Tratamiento de aguas Residuales. Bogotá
6. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, Lineamientos de Política para el manejo integral del agua, Acuerdo del Consejo Nacional Ambiental, Bogotá, 1996.

7. Resolución número 0330 de 2017

8. LETTINGA, G. AND HULSHOFF POL, L.W. (1991) UASB process design for various types of wastewater. Wat. Sci. Tech. 24(8), 87-107.

9. METCALF & EDDY. (1995) Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Labor. Barcelona

- **Webgrafía**

- Biblioteca virtual (internet). Disponible en http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/.../CAPITULO2.pdf.

- Tratamiento de aguas residuales (Internet). Disponible en http://www.globalconsulting.mx/plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf

-RESOLUCION 0330 (2017) [On-line] Disponible en:

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%200330%20de%202017.pdf

-RAS- TITULO D Sistema de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales domésticas y aguas lluvias. (2016) [On-line] Disponible en:

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Cartera levantamiento Topográfico

Anexo 2. Registro Fotográfico visita Nueva Flores

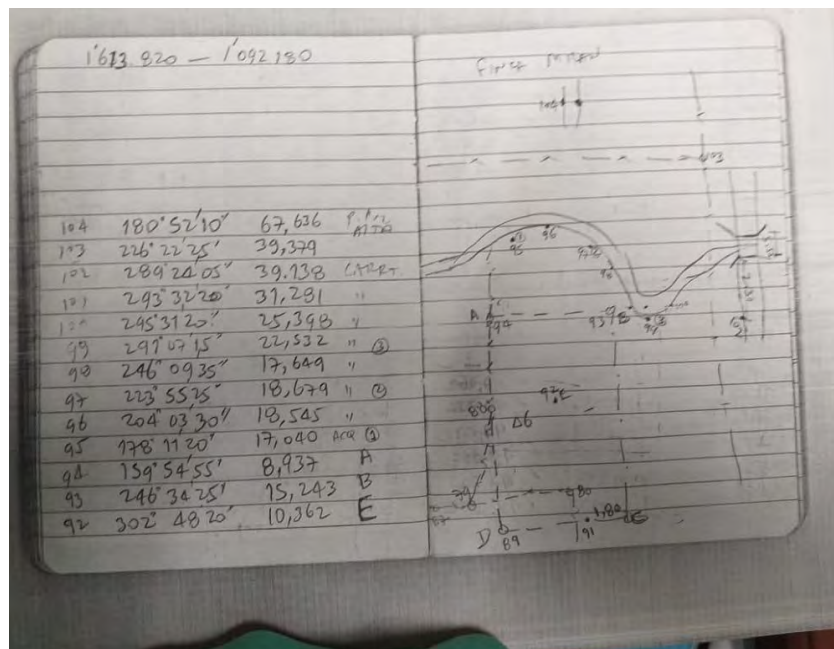
Anexo 3. Procedimiento Operacional Alcantarillado

Anexo 4. Procedimiento operacional Tratamiento

Anexo 5. Memorias de cálculo

CARTERA

G	W	V	V	E	G	W	V	V	E
50		1.080		101,287	50		1.080		99,967
P-16		0.835		101,492	P-2		1.672		100,835
C-10	1.132		0.825	101,614	10		1.595		100,722
10		1.200		101,424	20		1.550		100,237
20		1.250		101,379	30		1.480		100,387
30		1.420		101,204	40		1.295		100,512
40		1.585		101,039	50		1.220		100,587
50		1.692		100,932	P-3		1.152		100,655
P-12		1.730		100,899	10		1.070		100,737
20	1.813,60	1.825		100,799	20		1.040		100,767
C-1	20.35	1.610		101,014	30		0.960		100,847
B-11	2	1.330		101,294	40		0.870		100,937
C-8	1.275		1.760	102,734	50		0.930		100,877
C-9	0.920		1.852	101,887	P-4		0.946		100,867
P-1				100,800	C-10	1.840		0.915	102,732
10		2.260		99,597	10		1.860		100,877
20		2.200		99,607	20		1.860		100,872
30		2.260		99,647	30		1.350		100,982
40		1.920		99,887	40		1.690		101,042

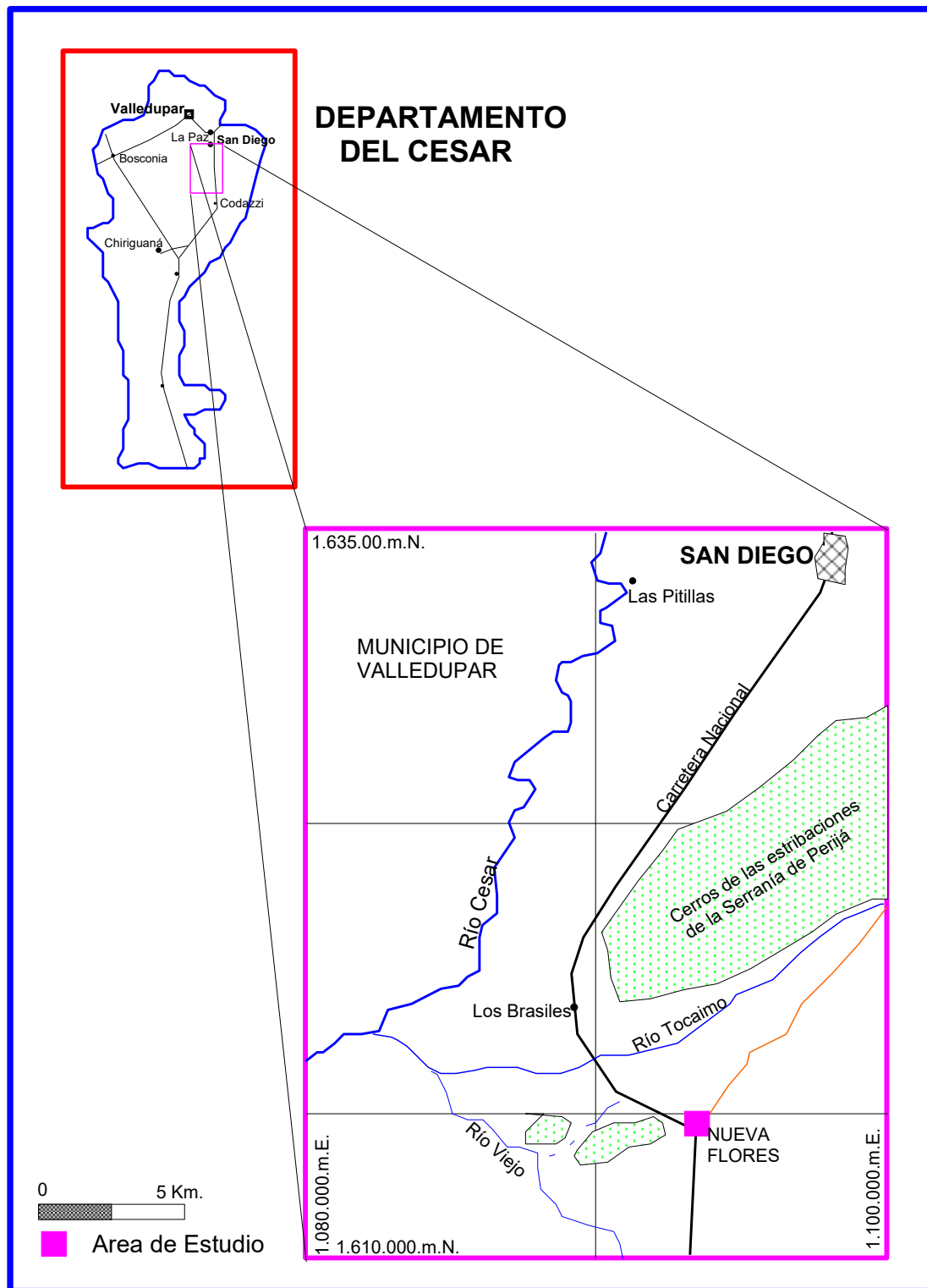


D	V+	V2	V-	A	V-
C-10		1.820		/	99.885
P-11	0.830		100.928		100.098
C-11		1.255		/	99.672
C-12		1.480		/	99.448
P-11	1.000		101.098		100.098
C-13		1.780		/	99.318

27	220° 58'35"	59,641	P-15	42	137° 19' 30"	7,723
26	181° 02' 30"	8,988		42	59° 43' 10"	8,647
25	248° 51' 45"	17,942		44	180° 22' 00"	61,526
24	329° 26' 30"	9,037		43	02° 00"	
23	35° 10' 00"	9,567				
43	88° 30' 35"	58,130	P-13			
62/01	0°			47	106° 40' 25"	29,502
				39	169° 24' 10"	80,827
				38	161° 59' 20"	67,873
22	175° 06' 45"	292,762	P-1	37	181° 54' 35"	68,510
21	175° 43' 20"	236,397		36	186° 42' 05"	71,324
20	175° 46' 30"	226,981		35	218° 03' 00"	73,315
19	174° 54' 40"	232,220	P-2	34	234° 3' 05"	100,653
18	176° 10' 00"	178,856		33	266° 15' 25"	129,802
17	176° 19' 20"	169,161		32	270° 01' 00"	129,805
16	174° 41' 30"	173,232	P-3	31	263° 26' 30"	124,013
15	177° 08' 00"	122,350		30	273° 40' 35"	123,153
14	177° 22' 05"	112,143		29	276° 50' 55"	64,936
13	174° 42' 30"	116,899	P-4	28	279° 56' 05"	53,779
12	179° 12' 50"	63,324				

59	271° 41' 25"	60,767	C-11
58	277° 44' 15"	48,758	C-10
57	249° 16' 40"	43,486	C-9
56	268° 18' 15"	58,107	
55	278° 06' 00"	58,767	
54	280° 35' 10"	41,732	C-8
Δ5	180° 52' 25"	183,109	
Δ4/Δ3	0		
53	175° 20' 30"	53,982	
52	176° 22' 20"	63,446	
51	183° 56' 15"	63,530	
50	186° 16' 30"	50,199	
49	180° 21' 20"	58,364	P-12
48	262° 59' 05"	62,270	
47	276° 25' 40"	61,359	
46	277° 38' 55"	49,002	C-7
45	297° 20' 00"	11,326	
44	239° 35' 15"	8,906	
75	147° 05' 55"	138,624	
74	148° 13' 00"	119,753	Acq.
73	95° 56' 55"	23,178	Acq.
72	93° 55' 25"	30,538	
71	308° 18' 40"	14,854	P-1
70	78° 08' 10"	74,133	
69	19° 11' 15"	12,750	
68	6° 20' 35"	67,732	
Δ6	176° 00' 50"	125,030	
Δ5/Δ4	0		
67			
66	180° 20' 50"	171,992	P-9
65	178° 43' 00"	108,097	
64	180° 40' 15"	111,754	P-10
63	176° 11' 25"	60,076	
62	185° 59' 40"	77,577	
61	186° 21' 05"	50,069	
60	185° 10' 55"	50,211	
60	180° 51' 35"	54,182	P-11

Q	V+	V-	T	Q	V+	V-	T
20	1.560		100,218	50	1.430		100,594
30	1.470		100,308	P-13	1.390		100,694
40	1.400		100,378	C#6	1.652	1.390	102,306 100,694
50	1.300		100,478	10	1.620		100,706
P-12	1.348	0.10	100,430	20	1.580		100,766
C#5	1.654	1.348	102,984 100,430	30	1.620		100,726
10	1.580		100,504	40	1.530		100,816
20	1.520		100,564	50	1.430		100,916
30	1.430		100,654	60	1.405		100,941
40	1.390		100,694	70	1.340		101,006
50	1.270		100,814	P-590.35	1.330		101,016
60	1.190		100,894	P-13			
70	1.200		100,884	0.100	1.684		100,662
P-4	1.220		100,864	10	1.640		100,706
30.60				20	1.620		100,726
P-12				30	1.600		100,746
10	1.590		100,494	40	1.610		100,736
20	1.520		100,564	P-14	1.550		100,796
30	1.550		100,534	Ref.	0.248	SOBE	102,098
40	1.555		100,529			P-5.75	





CALLE FRENTE A ZONA DE FUTURO DESARROLLO
VERTIDOS HACIA POTRERO DE LA FINCA DONDE SE PROYECTA CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDAS



PANORÁMICA CALLE



CALLE QUE VA DE LA POBLACIÓN A LA ESCUELA SOBRE LA VÍA A LA BODEGA



VIA QUE VA DE LA CARRETERA NACIONAL A LA BODEGA SOBRE LA CUAL ESTAN LAS DOS ESCUELAS



ESCUELA NUEVA



VIA ESCUELA NUEVA FLORES HACIA LA POBLACIÓN



ESCUELA NUEVA FLORES, AL FONDO CARRETERA NACIONAL



CARRETERA NACIONAL ESQUINA ESTACIÓN A LA BODEGA



AL FONDO AL LADO DEL POSTE INICIO DE EMISARIO FINAL



POBLACIÓN INFANTIL RODANDO POR EL SUELO EN CONTACTO CON VERTIMIENTOS



PANORÁMICA DE LA POBLACIÓN AL LADO DE LA CARRETERA NACIONAL



CENTRO DEL POBLADO, SE OBSERVAN VERTIMIENTOS DE PATIOS



VISTA CASETA DE ALJIBE Y TANQUE ELEVADO DEL ACUEDUCTO



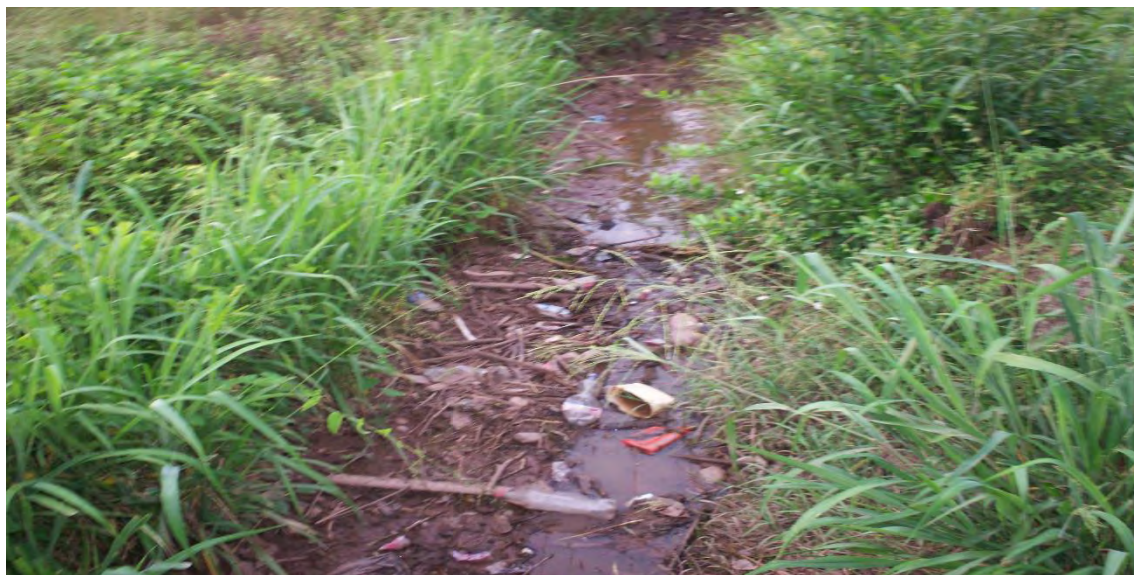
AL FONDO DETRÁS DE LA CANCHA SE LOCALIZA ZONA DE TRATAMIENTO



AL FONDO DETRÁS DE LA CANCHA SE LOCALIZA SITIO DE TRATAMIENTO



ESQUINA DONDE LLEGAN LOS DOS COLECTORES PRINCIPALES AL POZO DE INICIO DEL EMISARIO FINAL



AGUAS DE VERTIMIENTO EN PATIOS



ESQUINA DE ESTACIÓN DE LLEGADA DE LA REGION DE LA BODEGA (TIENDA DEL SEÑOR ENRIQUE). SE UBICA POZO INICIAL EN LA DIRECCIÓN DE LA VÍA HACIA LA BODEGA

MANUAL DE PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS ALCANTARILLADO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	
1. OBJETIVO	
2. ALCANCE.....	
3. SOPORTE NORMATIVO.....	
4. TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES	¡Error! Marcador no definido.
5. RESPONSABLE	
6. CONDICIONES GENERALES.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

El presente manual contiene conocimientos generales sobre fontanería de alcantarillado, es una herramienta de apoyo para el personal encargado que permite una mayor eficiencia en la operación y mantenimiento de los sistemas.

Este tema es importante para la Fontanería del servicio públicos de alcantarillado, tienen la responsabilidad de garantizar el mantenimiento preventivo y/o correctivo de los componentes del sistema de alcantarillado y con ello operar eficientemente la infraestructura de alcantarillado y sistema de tratamiento.

OBJETIVO

Este procedimiento se constituye como una herramienta de consulta y guía a través del señalamiento de una serie de pasos para el desarrollo de las actividades cotidianas, que ejecuta el proceso operativo en el área de alcantarillado en función de fontanería, para que cumplan con los requisitos del sistema de gestión de calidad del operador de los servicios.

ALCANCE

Este procedimiento aplica para los funcionarios encargados de la operación de los sistemas de alcantarillado y planta de tratamiento en la actividad de fontanería con el fin de establecer los pasos necesarios para las tareas diarias.

SOPORTE NORMATIVO

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, soportado con la Resolución 0330 de 2017 y sus modificaciones, establece que los prestadores de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, deben contar con personal de fontanería debidamente capacitados para adelantar actividades de mantenimiento y operación de redes y componentes de los sistemas, para lo cual deben contar con un manual que especifique y facilite las actividades a ejecutar.

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

El entendimiento de la naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales es esencial para el proyecto y funcionamiento de las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación y para la técnica de la gestión del medio ambiente.

ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES.

Los análisis realizados con las aguas residuales pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos. Los principales parámetros utilizados para caracterizar un agua residual se citan a continuación:

- **Físicos.** Sólidos, temperatura, color y olor
- **Químicos.**
- **Orgánicos:** Proteínas, carbohidratos, grasas, animales, aceites y grasas minerales, agentes tenso activos, fenoles, pesticidas.
- **Inorgánicos:** PH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo, compuestos tóxicos, metales pesados.
- **Gases:** oxígeno, sulfuro de hidrógeno, metano.
- **Biológicos:** Protistas, virus, plantas y animales.

A continuación, se definen algunas de las características más importantes:

- Características Físicas.

⇒ **Sólidos Totales:** Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Analíticamente, el contenido total de sólidos de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103 - 105 grados centígrados.

⇒ **Temperatura:** La temperatura del agua residual es generalmente mayor que la de suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y actividades industriales.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción.

⇒ **Color:** El color se utiliza para describir cualitativamente el agua residual. El agua residual reciente suele ser gris, cuando el oxígeno disuelto es cero, el color cambia a negro. En esta condición se dice que el agua residual es séptica.

⇒ **Olor:** El olor del agua residual es debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el agua residual séptica.

El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos.

- **Características Químicas.**

⇒ **Proteínas:** Son los principales componentes del organismo animal. En las plantas se encuentran presentes en menor grado. Todos los alimentos crudos de origen vegetal y animal contienen proteínas. Todas las proteínas contienen carbono, así como oxígeno e hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre e hierro.

⇒ **Carbohidratos:** Los carbohidratos incluyen azúcares, almidones, celulosas y fibra de madera, contienen hidrógeno y oxígeno. - Grasas animales, aceite

y grasa: Las grasas animales y los aceites son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos. El término grasa, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se mezclan en el agua residual.

Las grasas son uno de los componentes orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales los atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido sódico, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos.

Estas sales alcalinas son como jabón y son estables. Son solubles en agua, pero en presencia de los componentes de la dureza, las sales sódicas, se transforman en sales cálcicas y magnésicas de ácidos grasos, también conocidos por jabones minerales, que son insolubles y precipitan.

El queroseno y los aceites lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos, usados en la construcción de las carreteras se derivan del petróleo y alquitrán.

Las partículas intervienen con la acción biológica.

- **Agentes Tensoactivos:** Son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua, que causan espumas en las plantas de tratamiento. En la actualidad el agente tensoactivo de los detergentes es el SAL, sulfonato alquilo lineales que son biodegradable.

- **Fenoles:** Los fenoles causan problemas de sabor en el agua. Se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en las aguas residuales que contienen desechos industriales. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados a concentraciones de hasta 500 mg/l.

- **Pesticidas y productos químicos agrícolas:** Los compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, son tóxicos para gran número de formas de vida, y por lo tanto pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas residuales. Estos productos químicos no son constituyentes comunes del agua residual, sino que suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la escorrentía de campos agrícolas y tierras abandonadas.

- **Medida del Contenido Orgánico.**

Los ensayos más comunes para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales son: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT). Otro más reciente es la demanda total de oxígeno (DTO), nos referimos a los dos primeros.

- **DBO:** El parámetro de polución orgánica más utilizada y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO, a los cinco días (DBO₅). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos, en la oxidación bioquímica de materia orgánica. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de las aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad de las aguas porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

- **DQO:** El ensayo de DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido.
- En ensayo de DQO se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que la DBO.

- **Materia Inorgánica**

Varios componentes de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua.

- **pH:** el pH se define como la concentración del ión hidrógeno presente en el agua. Es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa es difícil de tratar.
- **Cloruros:** Una fuente de cloruros, es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales. Las heces humanas, contienen 6 gr de cloruros por personas y día. Las concentraciones de cloruros por encima de las normales, puede interpretarse como una señal de que la masa de agua se utiliza para el vertido de aguas residuales.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio potasio o amoníaco.

La concentración de la alcalinidad en el agua residual es importante cuando debe efectuarse un tratamiento químico y cuando que haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.

- **Sulfatos:** El ión sulfato se presenta naturalmente en la mayoría de los suministros y también en el agua residual.
- **Sulfuros:** El sulfuro es un subproducto venenoso de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y se encuentra comúnmente en las aguas de alcantarilla y en las residuales de la industria. El sulfuro puede estar presente como el ión libre sulfuro o como ácido sulfúrico disuelto (H_2S y HS). La toxicidad del ácido sulfhídrico es equivalente a la del ácido cianhídrico.
- **Nitrógeno:** El nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de la proteína. Por tal razón se requiere datos sobre el mismo para valorar la tratabilidad de las aguas residuales, mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, se necesitará la adición del mismo para hacer tratable el agua residual.
- **Fósforo:** El fósforo es también esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos, la forma en que se encuentra son ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico.
- **Compuestos tóxicos:** Por su toxicidad ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro, son tóxicos en distintos grados para los microorganismos.
- **Metales pesados:** Vestigios de muchos metales pesados tales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. La presencia en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua dada su toxicidad.
- **Gases:** Los gases frecuentemente encontrados en el agua residual sin tratar son: Nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano. Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se

encuentran en todas las aguas que están expuestas a la atmósfera. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

RESPONSABLE

El cumplimiento de este procedimiento involucra a los operativos de fontanería relacionado con todas las actividades diarias que se realizan en la empresa.

El profesional universitario de acueducto y alcantarillado es el responsable de coordinar, inspeccionar y garantizar el control de las actividades diarias realizadas.

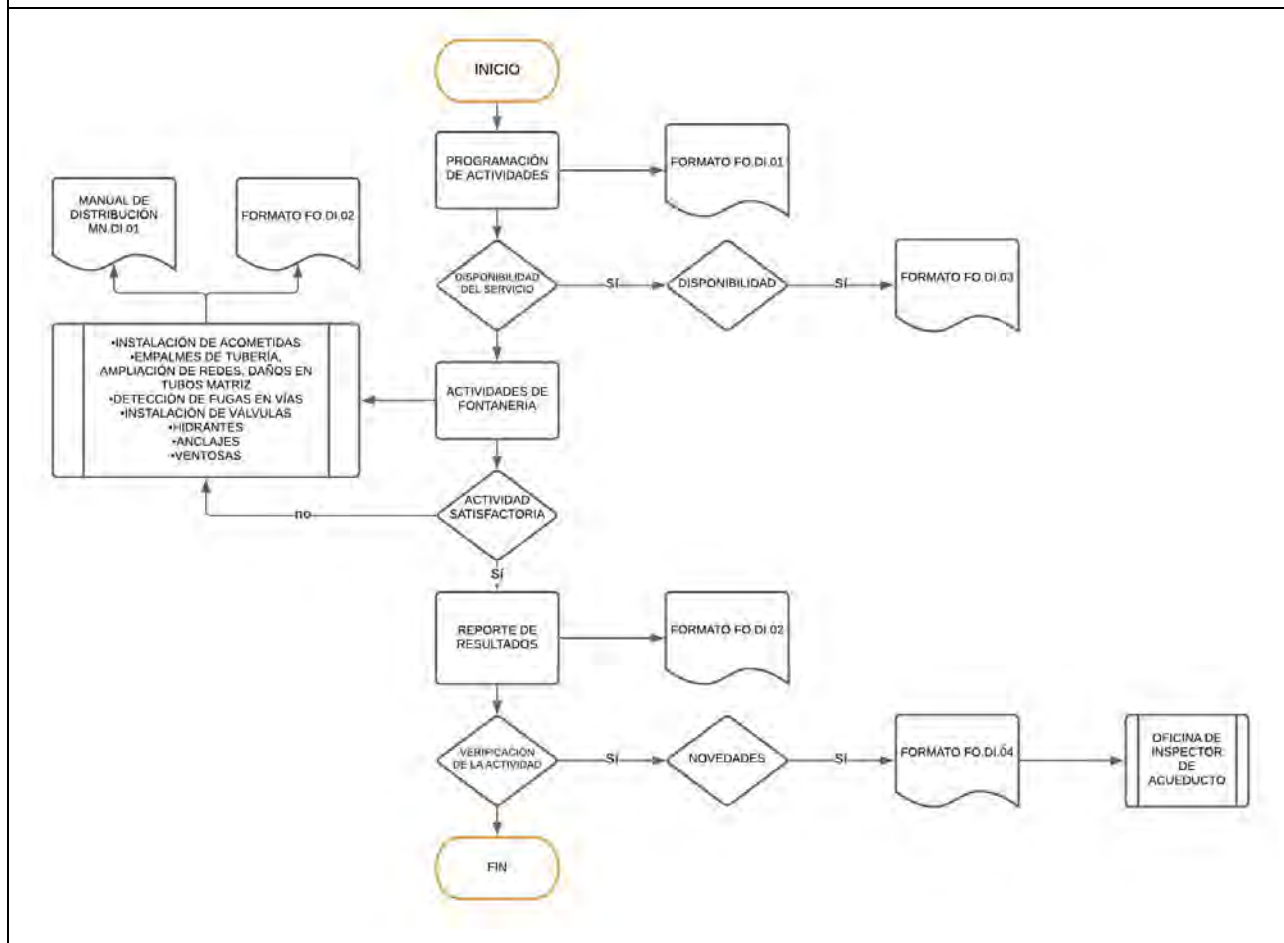
PROCEDIMIENTO: FONTANERÍA

ETAPAS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO	PUNTO DE CONTROL
1	Las actividades son programadas diariamente, por el jefe de área donde asigna a los fontaneros las actividades son programadas diariamente, por las actividades a realizar.	Jefe de área y acueducto alcantarillado	Informe semanal	Plan diario de trabajo, Oficina de peticiones, quejas y reclamos PQR y Dirección Operativa.

2	Los empalmes se construyen cuando se realiza una obra nueva o en una reparación ocasionada por un daño o remodelación, previa visita de revisión de disponibilidad del servicio. Ampliación de redes: estas se realizan cuando hay obras nuevas como construcción de urbanizaciones, daño de tuberías matriz se realizan cuando son ocasionadas por aspectos como: sobre presiones, desgastes de accesorios, sedimentó de terreno, sobrepeso de vehículos, carencia de ventosas, etc. Instalación de domiciliarias: se realizan para las actividades mencionadas en el flujograma se llevarán a cabo con base al manual de distribución codificado en el sistema de gestión de calidad como ma.di.01 para un óptimo manejo en las actividades diarias llevadas a cabo por los fontaneros, donde se especifica en detalle cada una de ellas.	Jefe de área de acueducto y alcantarillado, fontaneros	Informe semanal	Visita previa para disponibilidad del servicio
3	Se describirá el estado de la actividad, si fue satisfactoria para los usuarios, si la actividad fue eficaz se continuará al reporte de los resultados para finalizar la actividad. Si la actividad no fue eficaz la actividad tendrá que evaluarse nuevamente al orden de actividades operativas para verificar cual será el mejor	Jefe de acueducto y alcantarillado	Informe semanal	Oficina de peticiones, quejas y reclamos PQR y Dirección Operativa.

	método para llevar a cabo dicha actividad			
4	Cuando la actividad ha finalizado y ha sido satisfactoria se realizará un reporte de los resultados y el estado de la actividad. Los reportes que se realicen se entregaran al jefe de área de acueducto y alcantarillado	Jefe de área de acueducto y alcantarillado	Informe semanal	Oficina de peticiones, quejas y reclamos PQR y Dirección Operativa

ANEXO GRÁFICO:



PROCEDIMIENTO ALCANTARILLADO

ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA RED

1. Conexiones domiciliarias.
2. Colectores secundarios.
3. Colectores principales o Colectores maestros
4. Emisario
5. Receptor
6. Accesorios en general.

1. Conexiones Domiciliarias.

Son las líneas que permiten la descarga de las aguas servidas de las casas y edificios en las alcantarillas.

El diámetro generalmente establecido es de 6".

La pendiente utilizada debe ser mayor que la utilizada en la alcantarilla receptora, para producir mínimas velocidades recomendadas aconsejándose que en ningún caso esa pendiente baje del 2%.

La conexión a la alcantarilla secundaria se hace con una “ Y ”.

Estos accesorios se colocan al mismo tiempo que la alcantarilla, dejándose cerradas con un tapón de lámina o barro y mortero, mientras se hace la colocación final. La tubería domiciliaria se debe colocar normal a la alcantarilla lo que obliga a conocer con precisión al sitio por donde se hará la descarga del lote a drenar. Para efectos de limpieza han de construirse en línea recta tanto en planta como en perfil.

2. Colector Secundario Lateral.

Es aquel conducto que vierte en otro y que recibe aguas únicamente de las domiciliarias.

3. Colector Principal o Colector Maestro.

Recibe aguas de muchas ramificaciones tributarias y sirve para el desagüe de una zona extensa.

4. Emisario.

Conducto que recibe las aguas negras de todo un sistema de saneamiento y las conduce a un punto final de evacuación o una instalación de tratamiento, con o sin necesidad de bombeo. Puede considerarse como la parte de un colector principal, situado aguas bajo de la última ramificación.

Existen además el llamado “ INTERCEPTOR ”. Que recibe aguas de tiempo seco de varios conductos transversales o de desagüe y recibe además cierta cantidad de agua lluvia si pertenece a un sistema combinado y conduce esas aguas a un cierto punto para su tratamiento o evacuación. Suele ser un conducto grande que corre paralelo a un canal de drenaje; en él, descargan un cierto número de colectores o desagües principales.

5. Receptor.

Podría llamarse así al destino final de las aguas negras. Ese receptor puede ser:

- a) Un cauce seco.
- b) Una corriente.
- c) El mar.
- d) Laguna de Oxidación.
- e) Planta de Tratamiento.

OBRAS ACCESORIAS EN UNA RED DE ALCANTARILLADO

- Generalidades:

Para que una red de alcantarillado esté completa, se necesita una variedad de obras especiales.

Las más importantes son:

- 1) Pozos de visita e Inspección.
- 2) Cámara de caída.
- 3) Pozos o tanques de lavado manual.
- 4) Pozos o tanques de lavado automático.
- 5) Sumideros.
- 6) Sifones invertidos.
- 7) Dispositivos medidores.

CONSERVACION DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.

Las alcantarillas están ocultas bajo la tierra y se olvidan con frecuencia. Están sujetas al ataque permanente del exterior, por las aguas del terreno, alcalinas y ácidas y en el interior, por el ácido formado en la descomposición de la materia orgánica contenida en las aguas negras y por los ácidos y/o álcalis provenientes de la industria en general.

Las aguas negras, normalmente arrastran materia orgánica e inorgánica, parte sólida y parte disuelta. Por ignorancia e irresponsabilidad de los usuarios, suele traer, además del papel de uso normal, toda clase de elementos sólidos como trapos, palos, frutas, vidrios, cáscaras de frutas, entre otros.

Como consecuencia del contenido en general de las aguas negras, se presentan dos grandes inconvenientes y peligros a tener en cuenta por parte de los operarios encargados de la operación y mantenimiento.

- A)** La formación de gases nocivos a la salud, gases explosivos y proliferación de alimañas de alta peligrosidad, especialmente cucarachas y ratas.

- B)** Los atascamientos con las consecuencias desde el punto de vista económico y los consiguientes riesgos para la salud.

Los Ingenieros y supervisores de los sistemas de alcantarillado están de acuerdo en que la conservación de los alcantarillados es a menudo inadecuado y que en muchos casos no pueden disponer de suficiente ayuda; equipo, y tiempo para desarrollar el trabajo debidamente.

Es sumamente importante acostumbrarse a las inspecciones rutinarias de los desagües o al menos comprobación regular de los puntos más problemáticos.

PUNTOS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA EN LA INSPECCIÓN.

La siguiente lista resume los puntos a tener en cuenta en las inspecciones rutinarias.

- **Mal Uso de las alcantarillas.**

Este mal uso es comprobado por la presencia de flujo excesivo, aceite, olores, vapores y gases explosivos. Por las descargas de desechos industriales, que se manifiestan por las acumulaciones de sólidos en los pozos de vista, por el color, el pH y la temperatura de las aguas negras, o por los análisis químicos de la mismas cuando sea necesario.

También pueden ocurrir daños físicos en la tubería por la presencia de aguas corrosivas.

- **Presencia de Arena - Flujo Lento - Flujo Alto.**

La arena, suciedad y arenilla, pueden estarse infiltrado por el fondo o las paredes y puede ser también por las juntas, tubería rota o desunida.

Debe comprobarse si el flujo es “ lento o excesivo ”.

Además, si las aguas son sépticas o si hay acumulación de sólidos en las aguas y flujo muy lento, esto debe ser causado por una obstrucción de sólidos o raíces de árboles y puede sencillamente indicar que es necesario limpiar la tubería.

Si existe una alto flujo; esto puede ser indicio de una infiltración excesiva de aguas subterráneas, o puede ser debido a desagües de tejados, sótanos o conexiones de alcantarillas desconocidas.

- **Inspección del Pozo de Visita.**

Debe estudiarse si la mampostería del pozo requiere reparación, comprobar la solidez de los barrotes de la escalera y el asentamiento de las tapas; si están hundidas, deben repararse para evitar la entrada de las aguas, si están rotas deben reponerse.

- **Presencia de Insectos.**

Debe revisarse continuamente los pozos de visita, para constatar la presencia o no de insectos, en especial cucarachas.

- **Control de Flujos en la Alcantarilla.**

Debe inspeccionarse los flujos en tiempo seco y en época de lluvias, para constatar que existen infiltraciones o conexiones clandestinas de aguas de lluvia, en el caso de que el alcantarillado sea únicamente para aguas negras.

- **Nuevas Conexiones de Servicio**

Debe inspeccionarse la construcción y comprobarse si es hermética antes de colocar el relleno.

- Debe llevarse un registro de todo lo anotado anteriormente y observarse las precauciones de seguridad al inspeccionar o entrar en pozos o alcantarillas, precauciones que se verán más adelante.

PROGRAMA PARA INSPECCION DE ALCANTARILLAS.

En un programa para inspección de alcantarillas incluye:

- Inspección anual de todos los pozos y alcantarillas, incluyendo una prueba de los pozos principales para determinar si hay gases o vapores nocivos, o si hay deficiencia de oxígeno.

PERSONAL Y EQUIPO PARA ALCANTARILLADO.

Debe disponerse de mínimo de tres (3) hombres y el equipo necesario a saber:

- Camión.
- Equipo de seguridad.
- Equipo para la limpieza.
- Bomba portátil.
- Un rompepavimentos.
- Luces de noche.
- Ropa protectora (Botas, ropa de trabajo y guantes, etc.).
- Herramientas, tales como palas, ganchos sacatapas, llaves sacas tuercas, etc.)

SISTEMA DE INSPECCION Y CONSERVACION.

El mal uso de las alcantarillas puede causar peligro de explosiones, obstrucciones, sobrecargas en el sistema, interferencia con la operación de plantas de tratamiento si esta existe y daños físicos a la tubería.

Para poder controlar este mal uso, es necesario establecer una reglamentación.

PROCEDIMIENTO EN REDES

A continuación, se describen los pasos que se necesitan para actualizar los planos de las redes cada vez que se efectúe una obra de mejoras en las mismas, así como también los procedimientos para un reclamo o solicitud de instalación y las medidas de seguridad para la inspección y mantenimiento de las redes.

OBTENCION DE LOS PLANOS DE REDES E INSTALACIONES.

El operador cuando no disponga de estos planos, solicitará a La Dirección de la Entidad encargada de manejar el servicio de alcantarillado, dos juegos de los planos de la redes e instalaciones del alcantarillado existente, conservando debidamente y archivando un juego de cada uno de ellos y enviando a la Alcaldía el otro juego.

Cuando La Dirección de la Entidad no cuente con estos planos deberá obtenerlos ya sea a través de los contratistas que construyeron el sistema, levantándolos con su personal o mediante contrato con una firma en particular.

- **Actualización de los planos de redes e instalaciones de alcantarillado en relación con obras menores.**

La Entidad deberá dibujar todas las modificaciones ocasionadas en las redes e instalaciones a su cargo, por efecto de obras menores efectuadas en ellas, en el juego de copias heliográficas de los planos de las mismas que deben existir en los archivos de la Alcaldía.

Una vez recibido este juego, La Dirección de la Entidad Administradora procederá así:

- a) De inmediato incorporará estas y todas las demás modificaciones efectuadas en el sistema en los originales de los planos que reposan en su poder.

- b) Producirá dos (2) juegos de copias de los planos una vez estos se encuentren actualizados.
- c) Remitirá un (1) juego de copias al archivo central de la Entidad Administradora y el otro a la Alcaldía de la localidad, con la instrucción expresa de que se incorporen a su archivo y se destruyan los juegos anteriores. Esto último con el fin de evitar confusiones posteriores y simplificar el manejo del archivo técnico.

- **Actualización de los Planos de Redes e Instalaciones en Relación con Obras Mayores.**

La dirección de La Entidad es responsable de cumplir esta función cada vez que reciba obras mayores ejecutadas bajo su Interventoría, siguiendo el procedimiento que describe a continuación.

- Exigirá y obtendrá de los contratistas la producción de originales de los planos récord de las obras mayores realizadas de acuerdo a los formatos establecidos por La Entidad para presentación de planos.
- Incorporará estos planos en el archivo de originales de planos que maneja esta Dirección.
- Producirá tres (3) juegos de copias de los planos de las nuevas obras y remitirá una (1) al archivo central de la Entidad, otro a la Dirección Operativa y otra directamente a la Alcaldía de la localidad: con indicación de los planos que se modifican o se reemplazan y la instrucción de que estos últimos sean destruidos por las mismas razones.

PROGRAMACION Y CONTROL DE LAS ACCIONES PERIODICAS DE INSPECCION Y LIMPIEZA DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO.

Para esta programación se distinguen dos (2) tipos de acciones:

- Las que pueden ser efectuadas con el personal y equipo que posee la Alcaldía, que se denominan, acciones de inspección y limpiezas menores.

- Las que requieren de la utilización del personal y equipo asignado a nivel de La Entidad Administradora; acciones que en adelante se identificarán como acciones mayores de inspección y limpieza de las redes de Alcantarillado Sanitario.

INSPECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS POZOS DE INSPECCIÓN Y DE LOS ALIVIADEROS.

Los procedimientos de atención a este tipo de estructura, serán registrados en el “ Registro de Inspección de Estructura de Redes de Alcantarillado”.

Elementos y Equipos Necesarios.

Para realizar la inspección y conservación de los pozos, las cuadrillas deberán ir provistas de los siguientes elementos como mínimo:

- Ganchos especiales para destapar pozos.
- Dos vallas de seguridad.
- Dos picos.
- Dos palas.
- Dos palustres.
- Dos barras.
- Dos lamparas de seguridad.
- Dos arnés o cinturón de seguridad con manillas de una pulgada para cada operario.
- Botas impermeables, guantes y cascos para cada operario.
- Una motobomba centrifuga de succión de 2” como mínimo.
- Un juego de baldes con sus manillas correspondientes.
- Una mascarilla para gases para cada operario.
- Un botiquín de primeros auxilios.
- Un juego de planos de tramo o tramos de la red en que va a trabajar.

- Copia de la forma de “ Registro de Inspección de Estructuras en Redes de Alcantarillado ”.

Medidas de Seguridad de Cumplimiento Obligatorio.

a. Instalar vallas y señales de peligro (conos) que indiquen que se está trabajando en el pozo. La primera valla será colocada a 30 metros, antes del sitio de trabajo, en la dirección del tránsito. Esto significa que se requerirá, una sola en las calles de una sola vía, y dos en las calles de doble vía. Entre esta valla y el sitio de trabajo se colocarán por lo menos dos conos de peligro.

b. Destapará el pozo de trabajo y los dos (2) aledaños (el anterior y el posterior) y dejará transcurrir por lo menos 15 minutos antes de penetrar en ellos. Esto permite la salida de gases peligrosos.

El levantamiento de las tapas de andén y las rejillas deberá realizarse entre dos personas debido a su peso que puede ser excesivo para una sola.

La operación debe iniciarse levantando un extremo de la tapa o rejilla con la pica o la barra hasta que pueda ser asida firmemente por el otro operario con ambas manos.

c. Antes de penetrar en el pozo, se debe examinar el estado de los escalones de hierro del pozo, mediante golpes con algún elemento metálico pesado, para verificar que puede resistir el peso del operario que vaya a descender.

d. El operario que baje al pozo debe hacerlo amarrado a un cinturón de seguridad y a una manilla sólidamente fijada a un elemento exterior.

e. Sondear con el gancho suministrado para levantar las tapas de los pozos, los huecos y hendiduras que presenten las paredes, pues, en ellos pueden esconderse roedores o animales de índole peligrosa.

f. La iluminación dentro del pozo se obtendrá exclusivamente mediante lámparas portátiles a prueba de explosiones o de luz de seguridad en el acceso.

- g. Ningún operario bajará a un pozo si no está acompañado por otro operario que permanezca en el exterior del mismo, que lo saque en caso de desvanecimiento o accidente,

Inspección.

El operario que penetre en el pozo deberá seguir la siguiente secuencia, denunciando la anomalías o daños que vaya observando para que su compañero los registre, a saber:

- Revisión del estado de la tapa y el aro y anillo de soporte para determinar la existencia o no filos cortantes o desportilladuras que puedan constituir peligro.
- Observaciones de la presencia de basuras, lodo o materiales en el pozo e investigación de sus causas.
- Revisión del estado en que se encuentran los escalones del pozo y el avance de la corrosión que puedan tener.
- Revisión del estado del pañete del pozo y de los posibles desprendimientos y huecos que existan en las paredes.
- Verificaciones de la existencia de filtraciones.
- Observación de evidencias de represamiento tales como: signos de humedad, taponamientos en el pozo o en sus pañetes.
- Comparación de los volúmenes de agua que llegan al pozo en relación con los del pozo inmediatamente anterior con miras a detectar aumentos anormales que pudieron ser causados por infiltraciones, desagües clandestinos o roturas en las redes de acueducto; caso este último que deberá destacarse en la información que consigne en el formato de inspección.
- Observación de colores anormales de las aguas residuales que pudieran indicar descargas de desechos industriales o de características especiales no autorizadas.

Conservación.

Terminada la inspección y anotadas las anomalías encontradas, las cuadrillas procederá a efectuar las reparaciones requeridas así:

- Cambio de anillo de base o de la tapa si esta se encuentra en mal estado.
- Remplazo de los escalones sueltos o que presenten signos de debilitamiento por corrosión, ciñéndose a los diseños y especificaciones que haya establecido La Entidad.
- Taponamiento de morteros 1:3 de todos los huecos detectados en las paredes.
- Reposición del pañete en aquellas zonas en que se hubiere desprendido o donde se requiera reforzar para eliminar las filtraciones que se encuentren.
- Retirar las basuras, lodos o materiales que se hayan acumulado en el pozo, utilizando las garlanchas, baldes y manillas de dotación. Este material deberá retirarse en carretillas o remolques hasta los sitios que haya establecido La Entidad para el efecto y deben enterrarse. Esto con miras a evitar su arrastre por el agua nuevamente a los sumideros o pozos, la producción de los malos olores, proliferación de insectos y roedores o su arrastre a las fuentes superficiales.

REVISION Y CONSERVACION DE LAS ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO.

A continuación, se describen los equipos y las medidas de seguridad para la revisión y conservación de las Estructuras de Vertimiento.

Equipos y Elementos Necesarios.

Para la conservación y revisión de las estructuras de vertimiento es necesario los siguientes elementos:

- Dos picas.
- Dos palas.

- Dos baldes con sus manillas correspondientes.
- Dos guadañas.
- Una carretilla o remolque.
- Botas impermeables, guantes y casco para cada operario.
- Un arnés o cinturón de seguridad, con manilla de 1" para cada operario.

Medidas de Seguridad.

Debido a la localización de esta estructura en las localidades de clima cálido, el personal asignado a estas labores deberá permanecer vigilante para detectar la presencia de reptiles u otro tipo de animales que pueda poner en peligro su vida. Para ello el mejor medio es transitar por zonas despejadas o libres de maleza y mantener en esta forma los sitios de tránsito o trabajo.

Inspección.

La cuadrilla encargada de la operación y conservación de las redes de alcantarillado deberá visitar cada estructura de vertimiento que exista en el sistema como mínimo una vez al mes y determinar los siguientes aspectos:

- Si el cambio de acceso al sitio de descarga se encuentra limpio.
- Si la boca de descarga se encuentra libre de maleza, pasto, piedras, basuras, tales como : aletas, cabezal y piso se encuentra libre de grietas y si existen fenómenos o condiciones que puedan poner en peligro su estabilidad : socavación y/o sobrecarga de la estructura.
- Las variaciones que presentan las descargas de aguas negras en materia de color, caudal y longitud de las manchas que la descarga produce en el cuerpo receptor.
- Si no existe rebose o vertimiento de agua por fuera de la estructura.

Conservación.

Si fuere el caso la cuadrilla deberá proceder de inmediato a:

- Limpiar o despejar el camino o vías de acceso de todos aquellos elementos que dificultan la movilización prevista de personal o equipo hasta el sitio de descarga.
- Retirar todos los elementos que estén obstruyendo o alterando la descarga de aguas negras: maleza, piedras, basuras.
- Reparar las socavaciones y/o sobrecargas que estén afectando la estructura.

LIMPIEZA DE TUBERIAS DE ALCANTARILLADO.

El objetivo de la limpieza de las tuberías de alcantarillado sanitario es retirar los materiales acumulados en su interior.

La cuadrilla que realiza la limpieza debe tratar de identificar la causa que origina está acumulación. Entre otras se menciona:

- Vertimiento al alcantarillado de elementos pesados a través de las conexiones domiciliarias, por parte de los usuarios domésticos o industriales.
- Pendientes reducidas.
- Penetración de raíces a través de las juntas, grietas o roturas de las tuberías.
- Existencia de pozos sin tapas a través de los cuales se vierten basuras, piedras u otro tipo de materiales pesados.
- Existencia de tramos de tuberías rotas a través de los cuales este penetrando la tierra o el material de relleno que cubre la tubería.

Sistema de Limpieza.

Los sistemas de limpieza más comunes son:

- Varillas de acero flexible con sus aditamentos de limpieza, accionadas a mano o mecánicamente.
- Cubos o baldes sujetos por cable y arrastrados con malacates. Algunos de estos previstos de torres que permiten la descarga de materiales directamente a las volquetas que lo van a transportar hasta el sitio de disposición.

Es a menudo indispensable usar combinaciones de herramientas, por ejemplo, en el caso de una alcantarilla atascada con grasa, debe desobstruirse primero con varillas y a continuación debe pasarse un cable de acero con cubos y con cortadores fijados al mismo y finalmente una limpieza a base de escobillas con cerdas de acero.

Limpieza con los Equipos de Varilla Flexibles Accionadas Manualmente.

La limpieza de los tramos de alcantarillado ejecutada con los equipos accionados manualmente se hará según el siguiente procedimiento: Se usa el tirabuzón, ya sea de 2" o de 4", según el tamaño que se considere conveniente, a los tramos necesarios de varillas flexibles y se introducen en la denominada " guía inferior ", en forma tal que sobresalgan de esta por un extremo el tirabuzón y por otro la varillas flexible.

Se coloca la guía inferior en el fondo del pozo con la cabeza del tirabuzón en la entrada del tramo de alcantarillado a limpiar y se produce a asegurar la guía inferior utilizando un soporte ajustable trasero.

Se unen más varillas flexibles en el extremo libre de la que sobresale de la guía inferior hasta alcanzar una altura de 40 a 50 cm, como mínimo, por encima del borde superior del pozo de inspección y se procede a entubarlo uniendo tramos de tuberías de H.G. de 2" mediante uniones en forma tal que formen un conjunto rígido.

Instalación.

La cantidad de alcantarillado limpiado en un día está determinado por una buena instalación desde el comienzo de la operación.

El proceso de instalación comprende los siguientes pasos:

a. Paso de una Manila de 1/2" que una al pozo aguas arriba con el pozo aguas abajo.

Determinado el tramo que se va a limpiar, deberá pasarse una manila de 1/ 2" por entre la tubería hasta establecer conexión entre los dos (2) pozos que limitan el tramo.

Si hay suficiente velocidad en la corriente que recorre la tubería, una forma de hacerlo es atar un extremo de la manilla a cualquier elemento que flote, en forma tal que arrastre la manila hasta el siguiente pozo. Lógicamente el otro extremo deberá amarrarse a algún elemento fijo o sujetarse firmemente para impedir la pérdida de la manilla.

Cuando el extremo atado al flotador aparezca en el pozo aguas abajo, se ensanchará con la ayuda del gancho utilizado para destapar los pozos y se llevará hasta la superficie.

Una vez hecho esto, se deberá sujetar o amarrar en la misma forma indicada para el otro extremo.

Otra forma de pasar la manila consiste en introducirla y transportarla a través de la tubería con la ayuda del equipo de varilla flexible utilizado para sondeo, bien sea accionado manual o mecánicamente. Cuando la varilla a la cual va sujeta la manilla, alcance el pozo aguas abajo, se extrae la manila en la misma forma indicada en el método del flotador.

b. Colocación de las Máquinas.

El equipo de cabrestante consta de dos (2) máquinas de torno, accionada por un motor cada una. Con estos se hala y envuelve, simultáneamente, un cable unido al

balde utilizado para recoger y extraer los materiales depositados en el interior de la tubería.

La tracción sobre el cable se ejerce en forma alterna para cada máquina. Primero hala una para introducir y cargar el balde y luego la otra para extraerla una vez que esté lleno.

A la primera de ella se le da el nombre de máquina de tiro y a la segunda de máquina de descarga.

Generalmente la máquina de tiro se instala en el pozo de aguas arriba y la de descarga en el de aguas abajo.

Sin embargo, cuando la velocidad de flujo en el colector es muy alta, se invierte este orden para evitar que el exceso de velocidad cause la salida del material ya recogido por el cable.

Las máquinas deben colocarse, en el pozo respectivo, en el costado opuesto de la boca de la tubería que se desee limpiar; centrada con relación al eje de la tubería; y enfrentadas, es decir al frente de cada una mirando hacia la otra.

c. Instalación de los Gatos de Plataforma.

Para esta instalación se requieren los siguientes elementos que conforman el gato de plataforma y que se suministrará con el equipo.

- Dos (2) bases o plataformas de superficie. Estas son estructuras metálicas en forma de U.
- Dos (2) tubos de hierro galvanizado de 2", para instalar uno en cada pozo. Está destinado a sostener los tornillos o poleas que faciliten los movimientos del cable que arrastre el balde.
- Dos (2) rodillos acanalados hacia el centro en forma de V, con libertad para girar sobre su eje longitudinalmente.

Primero se coloca la plataforma sobre la boca del pozo una en cada uno, en forma tal que queden centrados con respecto al eje de la tubería y con el lado abierto de la U mirando hacia la máquina instalada en el respectivo pozo.

En esta forma el tubo que soporta el rodillo se podrá instalar en el lado del pozo opuesto al lado donde está la máquina.

Luego se procede a introducir a cada pozo el rodillo de rodamiento junto con el tubo de hierro galvanizado de 2" del cual cuelga; hasta lograr que el vértice inferior de la ranura en V del rodillo este dos pulgadas por debajo de la cota clave interna de la tubería. Una vez se alcance esta posición, se deberá fijar el tubo a la plataforma de superficie, utilizando las cadenas que trae cada base para el efecto.

En caso de que la profundidad del pozo lo exija, deberá utilizarse tramos adicionales de tubo galvanizado de 2" (debidamente empalmados y fijados al tramo inicial mediante uniones), hasta tener una longitud suficiente para permitir la fijación a la base, pero sin que el tubo sobresalga más de 0.15 metros, por encima del nivel de la calle.

Debe tenerse especial cuidado para que en cada pozo el tubo de soporte o tubo guía del gato de plataforma quede perfectamente vertical, y alineado con el eje del tramo de tubería que se va a limpiar.

d. Instalación del balde.

Una vez instalados los gatos de plataforma, se pasa el cable de la guía de tiro a través de la tubería, amarrando su extremo al extremo correspondiente de la manilla, previamente pasada por ella y halando la manilla desde el otro pozo en la cual está instalada la máquina de descarga.

Hecho esto se conecta el balde que se vaya a utilizar por un extremo al cable de la máquina de tiro y por el otro al cable por la máquina de descarga.

El balde que utilice debe tener como mínimo un diámetro menor cuatro pulgadas al diámetro de la tubería que se va limpiar.

REPARACIONES MENORES DE TUBERIA DE ALCANTARILLADO.

Cuando la desobstrucción de un tramo de alcantarillado no es posible mediante la utilización de los sistemas de limpieza a disposición de la Entidad se debe proceder a destapar y romper la tubería en el sitio hasta donde penetren las varillas de sondeo, para cambiar el tubo o tubos que se encuentren taponados.

Esta labor podrá ser ejecutada por el mismo personal de operación y conservación del alcantarillado si la longitud de la tubería a cambiar no excede la de un tramo (80 a 100 m. Aproximadamente), y si en concepto de la Dirección de La Entidad su ejecución impide la normal extensión de las actividades inherentes a la operación y conservación normales del sistema.

En caso contrario La Dirección de la Entidad deberá proceder a su contratación con personal local.

Cualquier que sea la modalidad adoptar, la forma de efectuar el cambio de la tubería efectuar el cambio de la tubería taponada será la siguiente:

- Se excavará hasta descubrir la tubería de que se trate en el sitio que corresponda según la penetración de las varillas.
- Se taponará la boca de entrada de dicha tubería en el pozo inmediatamente anterior utilizando los tapones suministrados para el efecto.
- Se hará un orificio en su lomo, de tamaño suficiente para que por ella penetre la manguera de succión del equipo de bombeo.
- Se bombeará con una motobomba de 2" como mínimo, hasta extraer toda el agua contenida en el tramo represado, de tal manera que sea posible continuar con los trabajos en seco.

Ejecutado el relleno se acometerá, si hubiese lugar a la repavimentación de la franja afectada por la reparación.

El mismo procedimiento antes descrito se utilizará también cuando sea necesario el cambio de tramos de tubería de alcantarillado afectada por problemas distintos a la obstrucción como son:

- La rotura de tubos por el paso de vehículos pesados y/o por la falta de la cimentación o del atraque.
- Infiltraciones.
- Penetración de raíces.

DESOBSTRUCCION DE INSTALACIONES DOMICILIARIAS.

Cuando se presentan reclamos por reboses en las instalaciones domiciliarias, La Entidad solo debe responsabilizarse de garantizar el correcto funcionamiento de la caja de inspección general (la que está a la salida de la edificación involucrada) y la tubería que conecta esta caja con el colector del alcantarillado que pasa por el frente de la edificación.

Equipos y Elementos Necesarios.

Los equipos y herramientas requeridas para atender los reclamos por obstrucción de conexiones domiciliarias son las siguientes:

- Dos barras.
- Dos picas.
- Dos palas.
- Dos palustres.
- Ganchos para levantar las etapas de las cajas de inspección.
- Varilla para sondeo de tubería.
- Equipo de varilla flexible accionado manualmente.

- Motobomba de gasolina de 2".
- Una carretilla o remolque.

Medidas Preventivas.

Para estos trabajos los operarios deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a. Utilización de los protectores suministrados para este tipo de trabajo.
- b. Solicitud a los habitantes de la edificación de no hacer uso de las instalaciones sanitarias interiores.

Desobstrucción.

Para examinar los obstáculos que impiden el drenaje normal de las instalaciones se procederá así:

- Se destapa la caja de inspección general utilizando el gancho suministrado para ello o levantando la tapa entre dos operarios con ayuda de una pica o una barra.
- Se sondea la tubería correspondiente con una varilla para lograr su desobstrucción. Si esto no ocurriese deberá sondearse con el equipo de varilla flexible accionado manualmente (utilizando la broca más pequeña, máximo de 2"), y con un procedimiento similar al indicado para el manejo de este equipo, hasta lograr remover el tapón que ocasiona el represamiento.
- Si aun así no se lograra su desobstrucción, se procederá a destapar y romper la tubería en el sitio hasta donde penetra la varilla; y a cambiar el tramo de tubería que se encuentra obstruido.

CONEXIÓN DE DESAGUES DOMICILIARIOS.

Esta acción solo se ejecutará cuando llegue a La Entidad la orden correspondiente.

En este momento La Dirección de La Entidad transmitirá al personal encargado de la operación de la operación y conservación del alcantarillado para que proceda a ejecutar las obras a que haya lugar.

Una vez cumplida la orden la cuadrilla informará su cumplimiento al jefe operativo de La Entidad, utilizando el formato que para efecto le suministrará, el sistema comercial.

Equipos y Elementos Necesarios.

- Un gancho especial para destapar pozos.
- Dos vallas de seguridad.
- Cuatro conos para indicar peligro.
- Dos picas.
- Dos palas.
- Dos palustres.
- Dos barras para cada operario.
- Una motobomba centrífuga de 2”.
- Un juego de baldes con sus manillas correspondientes.
- Una carretilla o remolque.
- Un botiquín de primeros auxilios.
- Un juego de planos del sector de la red donde se va a trabajar.
- Un formato de registro de inspección de estructuras en redes de alcantarillado.

Medidas de Seguridad.

Si es necesario trabajar sobre el colector principal deberá tenerse en cuenta las medidas pertinentes anotadas en el numeral 3.5.2. (Inspección y Conservación de Pozos de Inspección y Aliviaderos), medidas de seguridad de cumplimiento obligatorio.

Ejecución.

Cuando ya existiese el ramal de conexiones al colector principal la cuadrilla debe proceder así:

- Localizará sobre el terreno y referencia mediante estaca, el eje del ramal de conexión y el punto donde este se interrumpe; basándose en las medidas que figuren en los planos récords de construcción del tramo colector al cual se pretende conectar el desagüe domiciliario solicitado.
- Solicitar al usuario potencial del servicio, que localice y descubra la caja de inspección general de la edificación que se beneficiará con el desagüe. Si esta no existe el propietario del predio tiene la obligación de construirla como registro previo a la ejecución del desagüe domiciliario.
- Instruir al mismo usuario potencial sobre el trazado y especificaciones de la excavación que este debe realizar para conectar la caja de inspección general con el punto donde se interrumpe el ramal de conexión al colector principal, solicitándole informe a La Entidad cuando está excavación se encuentre lista.
- Inspeccionar la excavación realizada por el usuario potencial e indicar, si fuere necesario, las acciones correctivas.
- Una vez la excavación se encuentre lista acometerá la colocación de la base, tubería y atraques con las normas que para este tipo de obra haya promulgado La Entidad.
- Previamente a la conexión del primer tubo deberá procederse a eliminar y retirar el tapón en mortero o papel que normalmente se deja en los ramales de desagüe, tratando de que el mínimo del vaya a parar al interior del colector.

Ejecución cuando no existe ramal de conexión al colector principal.

El procedimiento a seguir se presenta esta situación solo se diferencia del anterior en los siguientes aspectos:

- La cuadrilla deberá establecer, de acuerdo a su criterio, el punto exacto donde conectará el nuevo desagüe al colector principal y con base a dicho punto indicará el trazo que deberá tener la excavación que ejecute el usuario para el efecto. Este trazado deberá ir en la misma dirección del flujo, y en lo posible deberá formar un ángulo de 45° con el eje colector.
- Cuando se vaya a instalar el primer tubo del desagüe (comenzando del colector hasta la edificación), deberá romperse el espigo de dicho tubo a 45°, utilizando para ello el palustre si se trata de tubería de gres o de concreto. La caqueta si es tubería de PVC o asbesto cemento.

Luego se procederá a perforar el colector principal en el punto previamente elegido, hasta alcanzar un diámetro máximo de 6" en el plano normal al eje de la tubería, y de 8" en el plano perpendicular al anterior.

Enseguida se emboquillará con mortero 1:2 todo el perímetro de contacto entre el tubo del nuevo desagüe y el colector existente, con miras a establecer una unión estaca entre ambas tuberías.

Cuando se coloque el atraque en concreto de 2.000 psi, este deberá elevarse en ambas tuberías hasta alcanzar el lomo del colector principal.

CONEXIÓN DE REDES DE NUEVAS URBANIZACIONES.

Esta conexión será utilizada directamente por los urbanizadores, una vez reciba la autorización correspondiente de La Entidad.

La función del personal operativo de La Entidad en este caso solo será velar porque ningún urbanizador realice este tipo de conexiones, antes de recibir la autorización anteriormente anotada.

PROCEDIMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO

Los desarrollos tecnológicos en materia de digestión anaeróbica, abrieron en la década de los ochenta un importante mercado para aplicar esta vía en el tratamiento de aguas residuales, fundamentalmente para la industria alimentaria y agroindustrial. Hasta la fecha, los procesos anaeróbicos se han aplicado, además de la rama de alimentos y bebidas, en la industria papelera, química y petroquímica, farmacéutica y en aguas residuales municipales.

De las nuevas tecnologías de tratamiento anaeróbico de aguas residuales, el reactor anaeróbico de lecho (manto o cama) de lodos de flujo ascendente, UASB (por sus siglas en inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket), es sin duda aún el más utilizado en el mundo para el tratamiento de aguas servidas. Su característica principal es retener biomasa sin necesidad de un soporte gracias a la formación de granos o "pellets", que forman precisamente el denominado lecho, manto o cama de lodos. Este hecho lo hace más económico y le da ventajas técnicas sobre otros tipos de reactores avanzados. Sin embargo, este punto es su principal limitante, ya que la correcta operación del proceso UASB dependerá del grado de sedimentabilidad que logren sus aglomerados celulares, ya sea como granos o flocules densos. En algunos países latinoamericanos se ha difundido el empleo de las siglas RAFA para designar a los reactores UASB. Las siglas significan: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, designación ésta última que excluye la característica principal del mismo: el manto o cama de lodos.

Como el sistema de tratamiento previsto en Nueva Flores es anaeróbico es importante familiarizarse con la maquinaria bioquímica de las células que serán las encargadas de realizar el trabajo de degradación, y cuáles son los factores que las afectan ya sea favoreciéndolas o inhibiéndolas. En los últimos años se han hecho

importantes avances en el conocimiento de los microorganismos involucrados en el proceso tanto referido a sus posibilidades de degradación de distintos compuestos, como a las condiciones óptimas en que se desarrollan, y su capacidad de resistir y adaptarse a condiciones adversas.

ASPECTOS ESCOLÓGICOS

El metano se encuentra en la atmósfera en un orden de 4×10^5 g y aumenta a razón de un 20% anual. Del 80 al 90% es de origen biológico, producido por bacterias metanogénicas presentes en diferentes hábitats naturales (fondo de lagunas, pantanos, fondo del mar con sedimento orgánico, aguas termales, plantaciones de arroz, etc), ecosistemas artificiales (rellenos sanitarios, digestores aeróbicos o anaeróbicos, etc). El resto proviene de fuentes fósiles. El metano que llega a la atmósfera es asimismo el que resiste la oxidación producida por microorganismos aerobios metilótrofos, que son abundantes en la naturaleza, y bacterias anaeróbicas sulfato reductoras, cuando existe sulfato disponible (p.e: mar).

FISIOLOGÍA MICROBIANA

Con carácter general se puede decir que cuando se acumulan polímeros naturales orgánicos se produce un rápido consumo de oxígeno, nitrato y sulfatos, por acción de microorganismos, cada uno de los cuales lleva a cabo el proceso bioquímico que le reporte el mayor rendimiento energético en esas condiciones y que compiten por los diferentes substratos disponibles. Las células bacterianas son sistemas abiertos en los que se dan un flujo constante hacia adentro y hacia fuera de materia y energía. Cada célula posee los sistemas enzimáticos y las estructuras necesarias para transformar energía química o física (radiaciones) que proviene del ambiente

de energía utilizable en condiciones biológicas, para la realización de trabajos bioquímico (biosíntesis, osmorregulación, control de pH), y mecánico (movimiento)

CONSIDERACIONES BIOQUÍMICAS Y TERMODINÁMICAS

En los procesos de fermentación, la estrategia celular para conservar la energía de la reacción es la fosforilación a nivel de sustrato, mientras que en la respiración la mayor parte de la energía se genera por fosforilación oxidativa, esto es por pasaje de electrones, a través de una cadena respiratoria. En todas las células de ATP (adenosin trifosfato) es el compuesto que mayoritariamente se emplea como fuente de energía en todos los procesos celulares que la necesitan, y se sintetizan en forma concomitante a los procesos de óxido reducción, en la fosforilación oxidativa, o por hidrólisis de los intermediarios ricos en energía tales como 1,3 difosfoglicerato, fosfoenolpiruvato y, acetilfosfato en los procesos de fermentación. En los procesos de respiración, el pasaje de electrones a través de la cadena respiratoria, genera un gradiente de protones a través de la membrana, cuya energía potencial permite la síntesis de ATP a partir de fosfato de ADP (teoría quimiosmótica). La velocidad de crecimiento de los microorganismos depende no sólo de la concentración de sustratos y productos en el medio en que crecen, sino también de la afinidad por los sustratos. Cuando en un sistema hay muchos tipos diferentes de microorganismos, y compiten por un mismo sustrato generalmente crecen a velocidades diferentes, y por lo tanto en un sistema continuo. Algunos microorganismos pueden desaparecer del reactor por lavado.

CINÉTICA DEL PROCESO

Tanto en la naturaleza como en la mayoría de los digestores, los sustratos que deben biodegradarse, son complejos, y están compuestos por diferentes tipos de

polímeros. Los microorganismos deben metabolizarse para su uso tanto como fuente de energía como para biosintetizar todos los componentes celulares. En un sistema anaeróbico al que ingresan polímeros naturales, y en ausencia de compuestos inorgánicos como: nitrato, sulfato, ion férrico, o mangánico, la degradación se da en cinco etapas:

- 1) hidrólisis y fermentación,
- 2) acetogénesis y deshidrogenación,
- 3) acetogénesis,
- 4) metanogénesis a partir de acetato, y
- 5) metanogénesis a partir de hidrogeno y anhídrido carbónico.

DIFICULTADES OPERATIVAS EN LOS REACTORES UASB

Debido a que el funcionamiento de un reactor UASB está basado en la correcta sedimentabilidad de los lodos, algunos factores pueden condicionar su correcta operación, particularmente si se afectan las características deseadas de la cama de lodos. Una apropiada operación implica un conocimiento de los problemas que pueden aparecer, y consecuentemente del grado de control necesario para el proceso. En general, se debe fundamentalmente prestar mucha atención a la presencia de materiales suspendidos o precipitables, compuestos que provocan inhibición y toxicidad, la formación de espumas o la flotación de lodo.

Exceptuando los compuestos tóxicos o inhibidores, los compuestos anteriores presentes en las aguas servidas afectan en forma adversa al proceso UASB de la siguiente forma:

- Se reduce la actividad metanógena específica del lodo, por la acumulación de material inerte.

- La biomasa sintetizada se adhiere a las partículas suspendidas, lo que evita la granulación. Con ello se corre el riesgo de evacuar la biomasa con los sólidos suspendidos del afluente, particularmente si se componen de pequeñas fibras.
- Las grasas y aceites pueden adsorberse sobre los granos, lo que reduce la transferencia de sustrato, favorece la adhesión entre granos y la formación de grumos que al acumular microburbujas los hace poco sedimentables.
- Se producen natas; o, sobrenadante, debido a que las grasas o material poco denso provocan la flotación de la cama.

INOCULACIÓN Y ARRANQUE

En general, el arranque de los reactores biológicos es una actividad delicada y sumamente importante para lograr el éxito del proyecto y de la planta de tratamiento. Durante esta fase, la biomasa se reproduce y se adapta a las aguas servidas, por lo que es un período en general inestable y de transición. La duración del arranque depende de parámetros biológicos, químicos y físicos.

El arranque está influenciado por:

- La concentración y composición de las aguas servidas,
- el volumen, la actividad y adaptación del inóculo,
- parámetros ambientales (pH, potencial redox, temperatura, nutrientes y elementos traza),
- parámetros de operación (carga orgánica, tiempo de retención hidráulico y condiciones de mezclado)
- y por último la configuración del reactor (geometría y tamaño).

Todos estos parámetros presentan una interacción muy estrecha. Debido a las bajas tasas de generación de los microorganismos anaeróbicos, el arranque de este tipo de reactores es aún más lento y delicado, por lo que requiere de un inóculo adecuado y de la experiencia del operador responsable. En el arranque la carga orgánica másica inicial debe ser baja, aproximadamente 0,1 kg DQO/kg SSV.d, y los ácidos grasos volátiles deben permanecer por debajo de 1000 mg/l. En vista de que no se dispone del laboratorio para el arranque del reactor UASB no será posible controlar cargas orgánicas. Por otro lado, en aguas diluidas, o de baja carga, como es el caso de las aguas servidas domésticas, y como quedó establecido en los cálculos de diseño, el factor limitante es la carga hidráulica por lo que se puede iniciar la alimentación del volumen de agua necesario para suministrar la carga orgánica deseada, manteniendo una velocidad ascendente no mayor a un 30 % de la de diseño.

En el arranque el lodo carece de mal olor y con características minerales. Se debe verificar la producción de gas.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El control regular y periódico de la operación de la planta y sus diferentes componentes es el requerimiento básico para garantizar el funcionamiento adecuado de la planta en su conjunto. En este sentido se debe comprobar la funcionalidad de cada uno de los equipos electromecánicos y de aquellos como compuertas, tableros de cierre, válvulas, registradores de nivel, vertederos, etc. De observarse defectos y/o aparatos fuera de servicio y luego de comprobarse la importancia jerárquica en relación al funcionamiento en conjunto de la planta del mismo debe procederse, según sea el caso, a repararlo y/o ponerlo fuera de servicio. En función de la importancia del aparato y/o elemento se debe informar

inmediatamente a la dirección de la planta, adicionalmente se debe registrar en libro diario de registro (bitácora).

Conforme a lo explicado durante el Programa de Puesta en Marcha las principales tareas en la gestión de una planta de tratamiento se agrupan en aspectos de mantenimiento, de operación y de monitoreo o control de información.

ASPECTOS DE MANTENIMIENTO

El éxito en la operación de una planta de tratamiento se basa en la observación de un adecuado programa de mantenimiento de las diferentes componentes de la misma. En este manual el término Mantenimiento denota el carácter preventivo y podría definirse como el conjunto de actividades a observar tendientes a preservar los componentes de la planta y evitar fallas o deficiente funcionamiento. Las indicaciones dadas en el presente manual son de tipo indicativo y deben entenderse como complementarias a las indicadas en los respectivos manuales de Operación y Mantenimiento de cada uno de los proveedores de equipos. Se insiste en que los manuales de los proveedores se constituyen en elementos constitutivos del presente manual y éste no es reemplazante de aquellos; sea en lo relacionado al mantenimiento preventivo como sobre todo al correctivo, recambio o reemplazo de partes defectuosas o desgastadas- y en la observación de Instrucciones de seguridad. Actividades de mantenimiento preventivo que sobrepasen la preparación y/o capacidad técnica del personal como de las herramientas disponibles en la planta; así como por sobretodo, reparaciones correctivas sea de partes mecánicas y/o eléctricas serán por regla general realizadas por personal especializado y/o en talleres profesionales adecuados para tales fines. Estos se refieren en primera línea a reparación de motores eléctricos, cambios de partes en tableros de control,

reparaciones de partes en las cajas reductoras, reemplazo de sellos o empaquetaduras (O-Rings) en bombas, etc.

Toda labor de mantenimiento preventivo o correctivo tiene que ser realizado prolijamente y quedar debidamente documentada. El personal tiene que portar la ropa de trabajo adecuada con el equipo de seguridad del caso.

El programa de mantenimiento incluye a más de las actividades ligadas directamente al mantenimiento preventivo, las relacionadas al control del inventario de materiales y repuestos y el control del presupuesto para la adquisición de repuestos, equipos, herramientas, pago de personal especializado y jornaleros.

El control de inventario de materiales y repuestos se lleva a efecto con ayuda de las hojas de kárdex especialmente diseñadas para este efecto. Debe quedar claro que éste manual tiene que ser permanentemente mejorado y adaptado por el Jefe de Planta a las situaciones que se vayan presentando a futuro.

ESTRUCTURA DE ACCESO Y SEGURIDAD

Abarcan a todas las estructuras, en general de carpintería metálica, que sirven para ingresar a una obra civil o que cubren aperturas en obras civiles y/o se puede caminar sobre ellas. Entre las principales se encuentran: escalerillas de acceso, pasamanos de seguridad, rejillas de piso, tapas de pozos, etc. Estas obras se encuentran ubicadas prácticamente en todas las obras civiles a lo largo de la planta de tratamiento. Las escalerillas de acceso no siempre son visibles sino cuando se levantan las tapas de los pozos, en otros casos como el de los espesadores de

lodos de los reactores, éstas se encuentran permanentemente bajo agua. Sumamente importante es tener claro que el ingreso a cualquier obra o estructura, independiente de las labores de mantenimiento que deben observarse, requiere el empleo de un arnés de seguridad, trípode de seguridad, detector de gases y tiene que hacerse con la presencia mínima de 3 operadores.

- **Mantenimiento diario** Las labores de mantenimiento de estas obras por su razón misma están ligadas a objetivos de seguridad. Diariamente se trata de hacer inspecciones ópticas de las mismas y reportar cualquier anomalía.

En general se presentan condiciones de corrosión en los parantes y la parte inferior de los tubos de las barandas de seguridad. En el caso de las rejillas de piso estas manifestaciones se registran en la arista inferior por lo que pasan generalmente desapercibidas.

- **Mantenimiento preventivo** Mensualmente es necesario comprobar el estado de las rejillas de piso y de las barandas de seguridad. A lo largo de todas las barandas se recomienda golpear con una varilla sobretodo en la parte inferior de los tubos. Es la respuesta al golpe un sonido metálico es un indicativo del buen estado. Por el contrario, un sonido seco -no metálico- es un indicativo de debilitamiento del material. De detectarse puntos de corrosión éstos tienen que ser punzonados con una varilla y correspondiente señalizados para su reparación. El estado de las rejillas de piso tiene que ser comprobada de similar forma para cada una de éstas, y con la misma periodicidad. Las tapas de todos los pozos tienen que ser abiertos con una periodicidad mínima mensual y se debe proceder a limpiar las guías, rieles, perfiles estructurales y/o empotramientos en los que se aloja la tapa, así como la tapa misma.

Adicionalmente se debe comprobar el estado físico de cada uno de los escalones de las escalerillas de acceso. La cara Interna de la tapa tiene no solo que limpiarse, sino que debe retirarse cualquier presencia de humedad (p.e.: condensación). En las tapas de acero es necesario aceitar y engrasar las bisagras o cualquier otro herraje articulado.

En el caso de las tapas de hormigón es preferible realizar su levantamiento con el empleo de una barra y no del asa. Esta actividad requiere que el personal utilice botas de seguridad con puntas de acero. En las estructuras metálicas en general pueden registrarse localmente superficies con una capa de óxido que debe ser lijada, limpiada y fondeada previo a la capa de pintura. Este trabajo se tiene que realizar aun cuando no haya ninguna presencia de óxido. De registrarse zonas con corrosión es necesario cortar el pedazo y sustituirlo por uno nuevo. En las zonas de la costura de la suelda se requiere rebajar la misma con pulidora y prepara la superficie a pintar 20 cm antes y después de las zonas de soldadura. En vista de las condiciones climáticas de la zona y de las características corrosivas del biogas es indispensable pintar las estructuras metálicas - especialmente rejillas de piso y barandas de seguridad- completamente con una periodicidad anual.

La observación de estas medidas garantiza la conservación de estas obras durante una vida útil de 8 a 10 años por lo que alcanzado este período es recomendable hacer un recambio integral de todas estas obras. Las escalerillas de acceso pueden requerir mayor periodicidad de mantenimiento. Sumamente importante es tener siempre presente que aun cuando existe la obligación - incluso diaria- de registrar su estado físico, hay que constatar el mismo en cada uno de los escalones previo a cualquier ingreso.

SISTEMAS DE CONDUCCIONES

En la planta se distinguen conductos abiertos por los que circulan aguas servidas a flujo libre compuestos por canales o canaletas a cielo abierto y conductos cerrados que normalmente trabajan a baja presión y por los que circulan como medio o bien aguas servidas o bien lodos. Los canales a cielo abierto se encuentran a la entrada de la planta y a la salida de la planta. Las canaletas se encuentran dentro de los reactores y se tratan en la sección correspondiente. Los conductos cerrados que trabajan a baja presión y transportan aguas servidas son los que enlazan las estructuras restantes de la planta; y aquellos que transportan lodos, son los que parten de los espesadores de cada reactor y llegan a los lechos de secado.

- **Mantenimiento diario** En los sistemas de conducciones las labores de mantenimiento diario se limitan a inspecciones ópticas de los conductos abiertos. Las conducciones cerradas se encuentran por línea general enterradas y no es posible realizar ninguna inspección óptica que no sea en las cámaras de carga, en las cuales se produce un incremento del nivel de agua. Este caso se presenta cuando no se ha cumplido con el mantenimiento preventivo o la limpieza periódica del desarenador. Las tuberías de lodos arrancan de los espesadores y llegan a los lechos de secado (LS) a través de las cajas de válvulas (CV). A excepción del tramo de la caja de válvulas, que son de hierro fundido y visible, el tramo restante es de PVC y están enterradas. Las inspecciones ópticas se refieren a este tramo.

- **Mantenimiento preventivo Aguas Servidas** En los conductos a cielo abierto debe procederse periódicamente a limpiar las paredes de los canales evitando que la materia acumulada en las paredes caiga en la corriente de las aguas servidas porque son elementos que pueden producir potenciales taponamientos. Los canales presentan muy buena capacidad de arrastre por lo que no es necesario realizar otro tipo de actividades que no tengan que ver con eventuales

resanes en el hormigón en el caso que esto se presentase. Mayor atención merece las conducciones cerradas y entre estas las de mayor importancia por su vulnerabilidad a la sedimentación son las de alimentación a los reactores. Con ayuda de un hidrolet se debe purgar cada línea con una periodicidad anual. El cabezal de limpieza tiene que tener un ángulo de avance en lo posible igual o menor a 30 ° y tiene que ser introducido en las líneas desde las cámaras de carga en el CDP hacia el reactor correspondiente. Esta labor exige cerrar y vaciar las cámaras de carga correspondientes. Los demás conductos no requieren de labores de mantenimiento preventivo que no sean eventuales limpiezas del tramo. Mucho más importante es mantener, sobretodo en la tubería de entrega y en partes puntuales de la planta, la franja correspondiente al trazo de las tuberías libres de vegetación. Las raíces de estas pueden malograr las tuberías al ingresar por las juntas. Lodos Las cajas de válvulas juegan un rol muy importante en el mantenimiento de las líneas de lodos. Durante los primeros meses de arrancados los reactores existe la posibilidad de que las líneas se taponen. Esto se debe fundamentalmente al hecho de que inicialmente no se puede purgar los lodos que se encuentran recién en la fase de generación y estabilización del proceso. En el sedimentador se registran acumulaciones de lodos que se van apelmazando. Cuando la planta y los reactores han alcanzado su fase de funcionamiento normal el lodo en exceso es retirado periódicamente por lo que los taponamientos prácticamente desaparecen cada línea el origen de la misma.

ESTRUCTURAS DE CONTROL DE FLUJO

Se entienden en general a todas las obras sobre las que vierte el agua (p.e. vertederos sean fijos o ajustables), que permiten o impiden o estrangulan el paso de flujo (p.e.: válvulas, compuertas, stop logs de madera, etc) sea de agua o lodos a través de un orificio o de una tubería. En aquellos órganos de cierre en que sobre el volante de accionamiento se distingue la leyenda (ABRIR) y (CERRAR) se debe accionar en dirección de la flecha indicada. En los que carezcan de esta

leyenda el sentido de cierre es horario (corresponde al sentido de giro de las manecillas del reloj) y el de apertura antihorario. A menos que se indique lo contrario, las válvulas instaladas en la PTAR corresponden a las del tipo Abierto/Cerrado, es decir, su función NO es realizar un control de flujo por operación del órgano de cierre. Estados de operación diferentes al de completamente abierto o cerrado producen una disminución de la vida útil de la válvula. En esta labor se requiere necesariamente la intervención de 2 operadores, como también para la operación de las compuertas deslizantes ubicadas en los separadores de los reactores UASB. En la de apertura o cierre de válvulas o compuertas restantes es recomendable también la participación de 2 operadores; para la operación de las compuertas donde por la altura de instalación o tamaño de la compuerta puede existir peligro de deslizamiento o se requiere de mayor fuerza, en caso contrario es suficiente 1 Operador.

- **Mantenimiento diario.** Las labores de mantenimiento diario consisten fundamentalmente en realizar inspecciones ópticas y limpiezas correspondientes -de ser estas necesarias-. Para los vertederos dado el caso librar de obstrucciones que provocan una reducción del área de flujo y eventuales remansos de las aguas. Especial atención merecen los vertederos ajustables del CDP y de los reactores UASB hay que observar si la ubicación general del vertedero es la adecuada y limpiarlos con ayuda de un escobón de observarse incrustaciones o pegotes. Las válvulas se deben comprobar que estas sean estancas y se encuentren cerradas. Ópticamente debe observarse que no se presenten signos de corrosión o desprendimientos de la pintura. Debe comprobarse que los tornillos de los vástagos de válvulas y compuertas se encuentran visiblemente lubricados
- **Mantenimiento preventivo** Dos veces semanalmente debe comprobarse la operatividad de los órganos de cierre y control (válvulas, compuertas, etc), sin requerir para ello abrir o cerrar completamente los mismos lo que por el contrario

se hará siempre luego de las labores de lubricación. Debe reportarse inmediatamente y anotar en el libro de bitácora si dado el caso la válvula está operativa pero la línea taponada (no fluye líquido del medio) como en el caso de las tuberías de purga de lodos desde los reactores. De presentarse dificultades al abrir una válvula o compuerta es aceptable ayudarse de una palanca. La fuerza a aplicarse a la palanca debe ser en sentido de la apertura y nunca colgándose de ella porque se pueden producir defectos irremediables en el órgano de cierre. La palanca NO debe emplearse para cerrar el órgano de cierre porque se genera una fuerza innecesaria que puede malograr el empaque. Si al cerrarse a mano no se observa inmediatamente una estanqueidad absoluta, generalmente, a las pocas horas estará dada la misma. En las válvulas se limita el mantenimiento a observar que el vástago en su parte visible se encuentre engrasado, dado que estos órganos son prácticamente libres de mantenimiento. En el caso de las compuertas ubicadas en: La cabecera del desarenador, Bajo los vertederos rectangulares de demasía en el CDP, Adyacentes a los espesadores en los reactores UASB, Las ubicadas en la cabecera de los mismos y las de los tanques de flotación deben ser abiertas en todo el tramo de su recorrido una vez bimensual. La periodicidad mínima aceptable es trimestral. Las cajas de válvulas (CV) tienen que limpiarse con una frecuencia semanal. Acumulaciones de tierra o crecimiento de vegetación dentro de éstas son inadmisibles. Los volantes de accionamiento tienen que estar libres de telarañas. La parte superior de cada vertedero debe estar necesariamente en posición horizontal. De requerirse se cambiarán los empaques de caucho. Semestralmente, o según lo indiquen los manuales respectivos, se lubricarán también los tornillos, cojinetes y tuercas de los vástagos de las válvulas y compuertas deslizantes. Es importante realizar los ajustes necesarios en las tuercas respectivas. Hay que observar que exista estanqueidad en las bridas de las válvulas caso contrario hay que reajustar.

SISTEMAS DE BOMBEO

El sistema es por gravedad por lo que no se hará bombeo de aguas residuales. Se utilizará bombeo para labores de desocupación y para bombeo de lodos. Para la inyección de aire al aireador sedimentador se utiliza se utilizará un soplador con una capacidad de unos 3 HP.

- **Mantenimiento preventivo.** El mantenimiento preventivo se basa en inspecciones por ruidos o problemas eléctricos no requieren una lubricación periódica, generalmente se realiza un limpieza y engrase con el cambio del sello mecánico. Este trabajo tiene que ser realizado por personal especializado.

DESBASTE

El desbaste es el proceso físico que se produce por el retiro de los sólidos gruesos retenidos en las rejillas y es una operación manual

- **Mantenimiento diario** Las rejillas se limpian manualmente con rastrillo o cualquier herramienta menor. En cada turno se tiene que observar el funcionamiento el estado de las rejillas. Observar rasgos de corrosión o deterioro
- **Mantenimiento preventivo.** Cada 15 días, con el retiro de arenas del desarenador se hará inspección visual

REACTOR UASB

Los vertederos de las canaletas de salida tienen que ser limpiados de observarse que se producen atascamientos o generación de algas. Para esta operación se requiere de un cepillo con mango largo. De registrarse ingresos de agua desiguales desde los vertederos hacia el canal de salida es un signo de su desnivel y es necesario tomar medidas correctivas. El tanque de flotación por su razón misma y poco equipamiento requiere de pocas medidas de mantenimiento, sobretodo debe

observarse que los retenedores/separadores se encuentren en la ubicación adecuada y que no se han producido roturas. Las cuatro compuertas deslizantes de canal tienen que ser mantenidas conforme a la sección. Se tomaran muestras periódicas en los puntos ubicados en toda la profundidad del reactor (cada 50 cm) para observar la biomasa y su granulación.

Estructuras de Control de Flujo. Ocasionalmente se presenta material flotante que se acumula frente a la pared retenedora de las canaletas de salida o en la cámara de gas. Observe que este material tiene que ser necesariamente removido del sistema, no tiene sentido reintroducirlo al reactor porque vuelve a la superficie. De ser el espesor del material acumulado menor a 2 cm puede realizarse un retiro semanal de ser el espesor mayor debe retirarse inmediatamente. Mensualmente hay que introducir una varilla de 12 m de longitud a través de cada uno de los dos tubos ubicados a la cabecera de cada reactor. Esta labor debe realizarse también siempre previamente a la apertura de las compuertas en la caja de retomo del sobrenadante. Semestralmente es necesario comprobar la ubicación de todos los vertederos en el reactor tanto de los de salida, como de salida. De detectarse desniveles en los vertederos correspondientes hay que proceder a corregir. De registrarse material acumulado tanto en la canaleta de entrada como en cada uno de los sus distribuidores hay que retirar el mismo. En la canaleta de entrada (1) debe limpiarse con ayuda de una escoba desde la tubería de alimentación hacia los extremos y no al revés. Este trabajo debe realizarse periódicamente o a más tardar conjuntamente con el de nivelación de los vertederos El Ingreso de personal a la canaleta de salida solo se hará con el empleo obligatorio del arnés de seguridad y botas antideslizantes y luego de haber limpiado la misma con un chorro de agua. Esta canaleta es sumamente resbalosa y se requiere por tanto extremar precauciones. Los lodos deben ser succionados de cada una de las tuberías con una periodicidad bimensual.

MEMORIA PARA EL CÁLCULO DE REDES

Con la información topográfica de redes, es decir, cota terreno, longitudes, perímetro sanitario y ubicación de pozos de acuerdo a la distribución de viviendas en la población y considerando área de protección y área especial de ubicación de viviendas al margen de la vía con frente constituido por un canal de aguas de escorrentías, se construye el plano topográfico como se indica en el plano. Para esta construcción se planteó la colección de agua de las viviendas al margen de la carretera mediante la construcción de cajas comunitarias construyendo las domiciliarias por los patios en lugar de los frentes.

Se obvió la construcción de emisario debajo de la línea de protección eléctrica por la prohibición existente de construcción de viviendas por debajo de la línea de alta tensión, la cual, goza de servidumbre. De hacerlo, la población de vería tentada a construir viviendas en esta zona con los problemas futuros que ello ocasionaría.

DISEÑO SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Los parámetros de diseño se definirán siguiendo las recomendaciones dadas en las normas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Económico ((hoy Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio) en su documento “Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, adoptado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio mediante la Resolución No. 0330 del 08 de junio de 2017.

-Período de diseño. - El Artículo 40 de la Res. 0330 de 2017. para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, adopta como período de diseño 25 años

Período de Diseño: 25 años

- **Dotación Neta Máxima.** - El Artículo 43 de la misma resolución establece que se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la tabla para altura promedio < 1000 m.s.n.m

Dotación Neta Máxima = 140 l/han*día

- **Coefficiente de retorno**

De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0,85 (art. 134 Res. 0330/2017). Información no disponible, por lo tanto,

Coefficiente de Retorno = 85%

- **Población servida.** - Corresponde a la proyectada al período de diseño (25 años). La información utilizada corresponde a la reportada por el DANE hasta el año 2035 para el municipio de San Diego: Cabecera, resto y todo el municipio. Se asume una tasa de crecimiento para el corregimiento de Nueva Flores similar a la tasa reportada para el resto, por lo cual, se extrapola la población DANE al año 2045 (último año del periodo de diseño), se calcula la tasa de crecimiento para el resto y se proyecta la población actual del corregimiento con dicha tasa. Se consideró la población flotante, por lo que los resultados son:

Población actual = 680 habitantes

Población al año 2045 = 961 habitantes

- **Áreas tributarias.** – Con el plano topográfico graficado en AutoCAD 2017, se calculan directamente el área sanitaria del corregimiento, áreas institucionales y de los colectores principales, áreas necesarias para el cálculo de caudales por infiltración, por conexiones erradas, institucional y el caudal de diseño y el real de diseño. Valores que se encuentran en las tablas presentadas en Excel.
- **Caudal de Diseño.** - De acuerdo a los cálculos indicados en las respectivas tablas se obtuvo:

Caudal de Diseño actual (año 2020) = 4.06 l/s

Caudal de diseño proyectado (año 2045) = 4.89 l/s

Teniendo en cuenta los caudales mínimos por tramo, se obtiene el caudal de diseño real, así:

Caudal de diseño proyectado real (año 2045) = QDR = 5.85 l/s

DISEÑO HIDRÁULICO Y GEOMÉTRICO DE ALCANTARILLADO NUEVA FLORES

Con la información topográfica se obtienen las cotas de terreno para los pozos seleccionados, las longitudes entre eje a eje de los pozos, las pendientes de terreno entre pozos y el perímetro sanitario. De la normatividad se obtiene el diámetro permitido para la tubería en poblaciones de menos de 2500 habitantes (sistema simplificado), las variables a considerar corresponden a las cotas de batea (o clave según criterio del diseñador), profundidad de pozos y pendiente de cada colector entre pozos. Estas variables son dependientes entre sí, por lo que si se aplica el criterio de profundidad mínima de colector (para el sistema simplificado se acepta 60 cm a clave, para zonas no críticas). Como se infiere, finalmente se puede trabajar con las variables de profundidad de pozo y pendientes chequeando con los criterios de fuerza tráctil, tipo de régimen de flujo (de acuerdo al valor del número adimensional de Froude). Lo aconsejable es mantener el sistema en flujo subcrítico. Número de Froude entre 0.7 y 1.5 causan inestabilidad y la variabilidad de la profundidad del flujo alrededor de la profundidad crítica. Para el caso de supercrítico se forman ondas transversales.

Toda la información requerida y sus cálculos fue consignada en hoja Excel en donde se deja la profundidad del pozo como variable supuesta, es decir, se inicia con la profundidad de la norma (60 cm a clave o 0.76 m a batea), a partir de allí se da un valor igual al pozo final y se observa la pendiente y los parámetros de chequeos, si no cumple se va incrementando hasta obtener el menor valor que cumpla y así sucesivamente para todos los colectores. Se debe observar que la pendiente promedio de la línea de energía de los colectores sea aproximadamente igual o ligeramente superior a la línea de energía de terreno. En la hoja de cálculo se van calculando las cotas de tubería (batea o clave), las cuales van a depender de la profundidad supuesta del pozo y la pendiente obtenida.

En una sola hoja de cálculo se obtienen: Características topográficas del tramo, cotas terreno y del colector, áreas tributarias, caudales de diseño, caudal real de diseño, características geométricas de acuerdo al tipo de colector seleccionado, y características hidráulicas.

CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

Las características hidráulicas deben cumplir con la normatividad, son de interés la velocidad de flujo en la tubería, la cual, de acuerdo al numeral 4 de Art. 145 de la Res 0330 de 2017 para el diseño de alcantarillados simplificados se establece que la velocidad real dentro de un colector debe estar entre 0,40 m/s y 5,0 m/s, determinada para el caudal de diseño en las condiciones iniciales y finales del periodo de diseño. De acuerdo al Art. 143 de la Res 0330 de 2017, la relación profundidad – diámetro debe permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 85% del diámetro interno real de éste, es decir, que debe ser menor de $0.85 \cdot 0.145 \text{ m} = 0.123 \text{ m}$. La fuerza tractiva debe ser menor de 0.10 kg/m^2 . La profundidad hidráulica permite el cálculo del número de Froude para conocer el régimen de flujo en la tubería, siendo el flujo subcrítico el esperado para asegurar un flujo estable y sin ondas.

De acuerdo a lo anterior, los parámetros de chequeo que deben cumplirse en el diseño son: Velocidad, profundidad de la lámina de agua, fuerza tractiva y el número de Froude. Parámetros que corresponden a valores reales correspondientes al caudal de diseño.

Para el cálculo de los valores reales se parte de relaciones experimentales (q/Q , v/V , d/D , t/T) las cuales se encuentran tabuladas o en forma de ecuaciones obtenidas mediante métodos estadísticos como el análisis de correlación regresión o mediante relaciones obtenidas con la aplicación matemática en el diseño experimental o con las transformaciones de las ecuaciones que las definen, por ejemplo, ecuaciones de Manning aplicadas a diferentes situaciones. Los denominadores corresponden a tubo lleno, valores que se obtienen con ecuaciones de flujo como las relaciones de Manning para el cálculo de caudales o velocidades y con las expresiones para el cálculo de fuerza tractiva como se indica a continuación:

Cálculo de Caudal Ecuación de Mannig:

$$Q = A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}/n$$

Donde:

Q: Caudal en m^3/s

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

R: Radio hidráulico, m

A: Área mojada transversal m²

S: pendiente longitudinal de la tubería, m/m

Para tubo lleno la expresión correspondiente es:

$$Q = (\pi D^2/4) * (D/4)^{2/3} * S^{1/2}/n$$

$$Q = 0.312 * D^{8/3} * S^{1/2}/n$$

Expresión utilizada en la tabla en Excel para el cálculo de Q a tubo lleno

Para la velocidad se utiliza la relación de caudal a tubo lleno sobre área transversal interna del tubo, es decir,

$$V = Q/A = Q/(\pi D^2/4)$$

El caudal Q es el calculado en la expresión anterior a tubo lleno

Para el cálculo de la tensión a tubo lleno (T), se utiliza la expresión:

$$T = Y * R * S$$

De donde:

T= Esfuerzo cortante en la pared de la tubería (kg/m²) – Tensión o fuerza tractiva

Y = Peso específico = 1000 kg/m³

S = Pendiente (m/m)

R = Radio hidráulico a tubo lleno = D/4

Al remplazar:

$$T = 100 * D * S / 4$$

Que corresponde a la tensión tabulada en Excel a tubo lleno.

Para el cálculo de las relaciones experimentales, q/Q, v/V, d/D y t/T, se utilizan las siguientes expresiones:

$$q/Q = \text{caudal real de diseño, lps}/(\text{caudal a tubo lleno calculado m}^3/\text{s} * 1000 \text{ l/m}^3)$$

$$v/V = 1.054148687*(q/Q)^{0.2948111209}$$

La expresión anterior se obtiene aplicando la definición:

velocidad = caudal/área de transversal de flujo

$$d/D = 0.888451597*(q/Q)^{0.54835}$$

Se obtiene en forma similar que la relación de velocidades.

$$t/T = (1 - ((\pi * (\text{seno}(2 * \text{Acos}(1 - 2 * d/D)))) / (\pi * 2 * \text{Acos}(1 - 2 * d/D))))$$

En esta relación se tuvo en cuenta la definición de esfuerzo cortante en forma general y a tubo lleno, es decir, la expresión general:

$$T = Y * R * S$$

$$T = Y * R * \text{Sen}(\text{Atan}(S))$$

R: es el radio hidráulico a condiciones de flujo real y S es la pendiente

Que a tubo lleno corresponde a la aplicación directa de:

:

$$T = 100 * D * S / 4$$

Obtenidas las relaciones y los valores a tubo lleno, los valores reales se obtienen al aplicar:

$$\text{Valor real} = (\text{valor real} / \text{Valor a tubo lleno}) * \text{valor a tubo lleno}$$

Ejemplo,

$$q = (q/Q) * Q$$

velocidad (v), profundidad de lámina de agua (d) y fuerza tractiva (t) son los parámetros a comparar con la norma y que deben cumplir todos los supuestos para una profundidad mínima de pozo.

DISEÑO SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

El sistema de pretratamiento consta de:

- Rejilla
- Desarenador
- Canaleta Parshall
- Cámara de reparto

La rejilla se ubica entre la salida del último pozo de inspección del emisario final y el desarenador, su finalidad es retirar material sólido, que por mal uso en la red es depositado en cajillas y pozos principalmente.

El desarenador, compuesto por dos unidades para un mejor mantenimiento, se ubica entre la rejilla y la canaleta Parshall. Su función es retirar arenas procedentes de usos inadecuados por recolección de vertidos en patios sin piso de concreto o similares y por arrastres en épocas de crecidas.

La función principal de la canaleta implementada es hacer aforos de caudales procedentes de la red y dispuestos para su tratamiento. La canaleta propuesta es prefabricada en material de fibra plástica y se empotra entre el desarenador y la caja de reparto.

La caja de reparto se ubica al final de la canaleta Parshall y su función es la de dividir y controlar los caudales alimentados a los dos reactores UASB.

DISEÑO DE REJILLA

De acuerdo al Art. 186 de la resolución 0330 de 2017, requisitos mínimos de diseño para rejillas, se utilizan rejas medias (entre 2 y menores de 4 cm) con espaciamiento de 2 cm y espesor de $\frac{3}{4}$ pulgadas, es decir:

$$b = 2 \text{ cm}; w = 1.905 \text{ cm}$$

Para la velocidad de aproximación (vca) se tomó la misma con que sale del último pozo de inspección

$$vca = 0.446 \text{ m/s}$$

Valor que cumple con las limitantes establecidas por la resolución 0330 de 2017, es decir: máxima 1.2 m/s para caudal máximo y de 0.3 m/s para caudal mínimo.

El porcentaje de área de flujo, o eficiencia de la rejilla se obtuvo a partir de la siguiente expresión:

$$E = \frac{b}{b + w} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

E = Eficiencia de la rejilla o porcentaje de área de flujo entre las barras.

b = Separación entre barras en m = 0.02 m (2 cm)

w = Ancho de las barras = $\frac{3}{4}$ " = 0.01905 m (1.905 cm)

Reemplazando en ecuación 15:

$$E = 2 \text{ m} / (2 \text{ m} + 1.905 \text{ m}) = 0.51$$

Para el cálculo del área de paso entre las barras, se utilizó la siguiente expresión:

$$Au = QMAX/3600/vca = 0.013 \text{ m}^2$$

En donde:

Au = Área de paso entre barras en m²

Qmax = Caudal máximo total en m³/s = 21.05 m³/h.

Vac = Velocidad de aproximación = 0.446 m/s.

Para el cálculo del área total de la rejilla inclinada se utilizó la siguiente expresión:

$$At = Au/E = 0.026 \text{ m}^2$$

En donde:

A_t = Área total de la rejilla inclinada o área canal

A_u = Área de paso en $m^2 = 0.013 m^2$

E = Eficiencia de la rejilla = 51.22%

A la salida del pozo final, la altura de la lámina de agua calculada en el diseño de redes de alcantarillado es de 0.06 m en tubo de 8". Conocida el área del tubo y el área del canal, se obtiene por similitud (cálculos en tabla 12) la altura en la lámina de agua la cual es de:

$$h_c = 0.049 \text{ m}$$

La altura total del canal (h_{tr}) es altura de lámina de agua más 0.30 m de altura disponible, es decir:

$$h_{tr} = h_c + 0.30 = 0.349 \text{ m}$$

La proyección de la altura sobre rejilla se obtiene por definición del seno de un ángulo aplicado a la inclinación de la rejilla, así:

$$P = h_c / \text{seno}(45^\circ) = 0.049 \text{ m} \times \text{seno}(45^\circ) = 0.069 \text{ m}$$

Ancho del Canal (w_t): Se define como el área total (A_t) dividida por la proyección (P) de la rejilla, así:

$$w_t = A_t / P = 0.370 \text{ m}$$

Ancho útil de rejilla (w_u) se define como el área útil (A_u) dividida por la altura de la lámina de agua, es decir:

$$w_u = A_u / h_c = 0.268 \text{ m}$$

Ancho de Barras (w_b): Se obtiene restando al ancho total el ancho útil de las rejillas, es decir:

$$w_b = w_t - w_u = 0.102 \text{ m}$$

Número de barras (nb): La expresión corresponde al ancho total de barra dividido por el ancho de una barra, así:

$$nb = wb/(w/100) = 6 \text{ barras}$$

Longitud mínima de canal (lcr): Se obtiene como la proyección de la altura total del canal ocupado por la rejilla más 20 cm, es decir:

$$Lcr = 0,20+(htr/TAN(lr) = 0.20 \text{ m} + 0.349 \text{ m}/\tan(45^\circ) = 0.55 \text{ m}$$

La Velocidad del agua residual en la rejilla (vr) se obtiene como la resultante en la rejilla de la velocidad que trae el agua residual al llegar a la rejilla, es decir:

$$vr = vca/\text{sen}(45) = (0.446 \text{ m/s})/\text{seno}(3.1416*45^\circ/180) = 0.63 \text{ m/s}$$

La Pérdida de carga en la rejilla (HR): Del Reglamento técnico, se tiene la siguiente expresión para su cálculo:

$$HR = (\beta*(w/b)^{1,33}) *(v^2/2g) *(\text{Sen}\alpha)^2 = 0.017 \text{ m}$$

El valor del coeficiente de pérdida (β) se obtiene de la Tabla E4.6 del reglamento técnico, para varillas redondas de $\frac{3}{4}$ ". Las pérdidas obtenidas están por debajo de 0.75 m

En la siguiente tabla desarrollada en Excel, se presentan todos los cálculos realizados en el dimensionamiento de rejilla y canal, con indicación de las relaciones utilizadas.

gua

DISEÑO TRATAMIENTO PRIMARIO					
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR	SÍMBOLO	FORMULA
	CAUDAL MÁXIMO	m ³ /hr	21,05	QMAX	
	VELOCIDAD ENTRE REJILLAS	m/s	<0,7	vc	Art. 186 Res. 0330 de 2017. Qmax 1,2 m/s y Qmin 0,3 m/s
	ESPACIAMIENTO/PLATINAS	cm	2	b	Art. 186 Res. 0330 de 2017
	ESPESOR BARRAS	cm	1,905	w	Utilizar varillas No. 6, es decir de 3/4"
DESARROLLO					
	PORCENTAJE AREA DE FLUJO	%/100	0,51	E	$b/(b+w)$
	VELOCIDAD ASUMIDA/REJILLAS	m/s	0,446	vca	Velocidad de aproximación - Diseño redes
	AREA ÚTIL DE CANAL	m ²	0,013	Au	$QMAX/3600/vca$
	ÁREA TOTAL DE CANAL	m ²	0,026	At	Au/E
	ÁREA TOTAL TUBO DE 8"	m ²	0,031	Atubo 8"	$A = 3.1416 \cdot D^2/4$
	ALTURA LÁMINA DE AGUA EN TUBO	m	0,060	d	Diseño redes salida pozo final
	ALTURA LÁMINA DE AGUA EN CANAL	m	0,049	hc	$hc = At \cdot d / Atubo\ 8"$
	ALTURA TOTAL DEL CANAL	m	0,349	htr	$hc + 0,30$
	INCLINACIÓN REJILLA	Grados	45	lr	ángulo inclinación rejilla = α
	PROYECCIÓN ALTURA SOBRE REJILLA	m	0,069	P	$P = hc / \text{SEN}(45)$
	ANCHO DEL CANAL	m	0,370	wt	$wt = At/P$
	ANCHO UTIL REJILLA	m	0,268	wu	$wu = Au/hc$
	ANCHO DE BARRAS	m	0,102	wb	$wt - wu$
	NÚMERO DE BARRAS	Num	5,4	nb	$nb = (wb/100)/w$
	LONGITUD MINIMA CANAL	m	0,55	Lcr	$0,20 + (htr / \text{TAN}(lr))$
	Velocidad en la rejilla	m/s	0,63	vr	$vr = vca / \text{sen}(45)$
	PÉRDIDA DE CARGA EN LA REJILLA	m	0,017	HR	$HR = (\beta \cdot (w/b)^{1,33}) \cdot (v^2/2g) \cdot (\text{sen}\alpha)^2$; menor de 0,75 m
	Coeficiente de pérdidas		1,790	β	Ras E.4.6 para vaillas redondas de 3/4"

ZONA DE TRANSICIÓN

La llegada al desarenador pasa primero por una zona de transición en la cual, el agua residual procedente del sistema de alcantarillado llega en tubería de 8" y descarga en canal donde se ubica la rejilla con ancho de 0.37 m (ancho en zona de rejillas) cuya ampliación tienen un ángulo de 12.50 m. El largo de la zona de transición se obtiene con la expresión:

$$L1 = (B-b)/(2 \cdot \tan(12.5)) = 0.38 \text{ m,}$$

como se indica en la siguiente tabla:

ZONA DE TRANSICIÓN (LLEGADA)				
ANCHO DE LLEGADA A LA ZONA DE TRANSICIÓN	m	0,20	b	Se instala tubería de 8" procedente de la red (ultimo pozo)
ANCHO SALIDA AL DESARENADOR	m	0,37	B	Calculada en cámara de rejilla
ANGULO ZONA DE TRANSICIÓN	°	12,50		
LARGO DE ZONA DE TRANSICIÓN	m	0,38	L1	$L1 = (B-b)/2 \cdot \tan(12,5)$

DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR Y CANALETA PARSHALL

Puesto que la altura de la lámina de agua en el desarenador debe considerar la altura del resalto, con los parámetros de caudal a medir, promedio, máximo y mínimo se selecciona la canaleta, la cual, se obtiene prefabricada en el mercado. Se seleccionó una canaleta de 3" de garganta y se indica en la siguiente tabla para el cálculo de la altura de la lámina de agua:

CALCULO DE ALTURAS DE LÁMINA DE AGUA EN CANALETA PARSHALL				
Altura para el caudal de diseño	m	0,111	Ha para QRD	$Ha = (QRD/K)^{1/n}$
Altura máxima para canaleta de 3"	m	0,465	Ha max	$Ha = (Q_{max}/K)^{1/n}$
Altura Mínima para canaleta 3"	m	0,032	Ha min	$Ha = (Q_{min}/K)^{1/n}$
ALTURA DEL RESALTO DE LA CANALETA	m	0,025	Z	$Z = (Q_{max} \cdot H_{amin} - Q_{min} \cdot H_{amin}) / (Q_{max} - Q_{min})$

Para el dimensionamiento del desarenador se tiene en cuenta los caudales procedentes del sistema de alcantarillado, estimación de velocidades y al aplicar las relaciones indicadas en la tabla siguiente se obtiene el dimensionamiento del desarenador, su comportamiento hidráulico, cálculos de velocidad de decantación, volúmenes de arena y período de limpieza, entre otras variables indicadas.

CÁLCULO DE ALTURAS DE LÁMINA DE AGUA EN CANALETA PARSHALL				
Altura para el caudal de diseño	m	0,111	Ha para QRD	$H_a = (QRD/K)^{1/n}$
Altura máxima para canaleta de 3"	m	0,465	Ha max	$H_a = (Q_{max}/K)^{1/n}$
Altura Mínima para canaleta 3"	m	0,032	Ha min	$H_a = (Q_{min}/K)^{1/n}$
ALTURA DEL RESALTO DE LA CANALETA	m	0,025	Z	$Z = (Q_{max} \cdot H_{amin} - Q_{min} \cdot H_{amin}) / (Q_{max} - Q_{min})$
DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR				
ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA	m	0,440	H	$H = H_{max} - Z$
Estimación de Velocidades para diferentes caudales de diseño - RAS 2000 ENTRE 0,2 m/s y 0,4 m/s				
CAUDAL, m ³ /s	H, m	H-Z	V m/s	$V = Q/S = Q/(B \cdot (H-Z))$
Qmax	0,465	0,440	0,33	B asumida = 0,37, cumple rango de velocidades
QRD	0,111	0,086	0,18	B asumida = 0,37, cumple rango de velocidades
Qmin	0,032	0,007	0,33	B asumida = 0,37, cumple rango de velocidades
ANCHO DEL DESARENADOR	m	0,370	B	Valor que cumple con rango de velocidades. Proviene de canal con rejilla
LONGITUD DEL DESARENADOR	m	1,850	L	$L = 5 \cdot B$ - Tabla E4.7 RAS
AREA SUPERFICIAL DEL DESARENADOR	m ²	0,685	As	$As = L \cdot B$
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR				
Tasa de escurrimiento superficial del desarenador	m ³ /m ² *día	738,23	T	$T = QRD/As$ - Cumple rango de 700 a 1600 m ³ /m ² /día
Tasa de arena	arena/ m ³ AF	0,04	Ta	Por cada 1000 m ³ de agua residual decantan 40 litros de arena
Volumen de arena para QRD	litros/día	20,21	Va	Volumen de arena decantada en un día
Periodo de limpieza	días	15,00	PI	
Volumen total de arena a extraer a los 15 días	m ³	0,30	Vta	$V_{ta} = V_a \cdot PI / 1000$
Altura de la Tolva	m	0,44	Hm	$H_m = V_{ta}/As$
Tiempo de Retención Hidráulica	seg	103	θ	$\theta = As \cdot (H_m + H) / QRD$
CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN (DECANTACIÓN)				
DENSIDAD RELATIVA DE LA ARENA		2,65	ps	
Diámetro de la partícula	cm	0,030	d	Diámetro mínimo Art. 188 Res. 0330 de 2017
Temperatura del agua	°C	26	t	
Viscosidad del agua	cm ² /s	0,0101	η	
aceleración de la gravedad	cm/s ²	981	g	
Velocidad de sedimentación	cm/s	8,01	Vs	$V_s = g \cdot (ps-1) \cdot d^2 / (18 \cdot \eta)$
Número de Reynolds	0,08013119	23,80	Re	Re>1, no aplica fórmula stokes, aplicar Allen para Vs
Velocidad de sedimentación (con fórmula de Allen)	cm/s	4,21	Vs	$V_s = 0,22 \cdot \text{potencia}((ps-1) \cdot g \cdot d^3 / \text{potencia}(\eta; 1/3))$
Número de Reynolds		12,50	Re	Zona de transición
Coefficiente de Arrastre (zona de transición)		3,11	CD	$CD = (24/R) + (3/(R^{0,5})) + 0,34$
Velocidad de sedimentación con coeficiente de arrastre	cm/s	4,56	V's	$V_s = (4 \cdot g \cdot (p.e.a-1) \cdot d / CD)^{0,5}$
Número de Reynolds		13,56	Re	Zona de transición
Vs > Vh, por lo que se espera no se producirá suspensión de arena decantada				

DISEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO

Como una primera aproximación y revisando las ventajas y desventajas de un proceso anaeróbico con respecto a un aeróbico, es preciso tener en cuenta que los procesos aeróbicos redujeron su competitividad por el incremento en el valor de la energía, lo cual, hace que los esfuerzos se hayan redirigido hacia alternativas más económicas y energéticamente más atractivas. Se han hecho muchas comparaciones entre los métodos aeróbicos y anaeróbicos, en función de las necesidades locales y el precio de la energía o la tierra. Además, es preciso considerar que el efluente de los reactores anaeróbicos normalmente necesita tratamiento adicional para remoción de Demanda Química y/o Bioquímica de Oxígeno (DQO/DBO), material orgánico coloidal, patógenos, olores, entre otros parámetros de calidad del efluente, para alcanzar las normas específicas de descarga o reuso.

De la revisión bibliográfica y, de la experiencia local, se consideró la implementación de un reactor anaeróbico, entre ellos se selecciona el Reactor Anaeróbico de Flujo ascendente (RAFA) o por sus siglas en inglés UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) y, de las consideraciones planteadas, se propone sistema de pretratamiento compuesto por rejillas, desarenador y medida de caudal, proceso anaeróbico cuyos efluentes pasan a un reactor combinado aeróbico con sedimentación de lodo digerido para lograr un efluente más ajustado a la normatividad y al reuso.

En este sistema además del efluente líquido y la producción de lodos, se produce gas rico en metano. Para el manejo de gas se deja para planear su uso como combustible, para quemarlo convirtiéndolo en CO_2 y H_2O o para ser inyectado y oxidado en el reactor aeróbico de donde saldrá CO_2 como subproducto a la atmósfera, de todas formas, se debe evitar enviarlo directamente a la atmósfera por sus efectos invernadero.

En el proceso de depuración anaeróbica, la contaminación orgánica presente en las aguas es transformada por la acción de microorganismos en:

- biogás (mezcla de CH_4 + CO_2),
- materias orgánicas degradadas que continúan en disolución y

- nuevos microorganismos sólidos

Este esquema sencillo de degradación de materia orgánica, en la práctica, se realiza a través de una serie compleja de reacciones bioquímicas que transcurren tanto en paralelo como en serie. Los procesos anaeróbicos se desarrollan a través de mecanismos complejos en los que han de intervenir diferentes familias de microorganismos. Mientras que en vía aeróbica un único microorganismo es capaz de degradar una molécula de azúcar hasta CO_2 , la degradación por vía anaeróbica implica la intervención en serie de familias de bacterias. Básicamente, la degradación anaeróbica se realiza por dos grupos de bacterias: bacterias productoras de ácidos y bacterias productoras de metano.

Como en todo proceso biológico para aplicar un proceso anaeróbico se requiere poner en contacto el sustrato que se quiere degradar con los microorganismos que realizan las transformaciones bioquímicas.

Cuando se pretende digerir líquidos, la cinética de degradación anaeróbica no está limitada por la etapa de hidrólisis y la cinética global es suficientemente rápida como para poder operar con tiempos hidráulicos de residencia de pocos días o incluso horas. Este es el caso del sistema de aguas residuales donde las reacciones de hidrólisis ya han ocurrido por lo que ella no se tiene en cuenta en el proceso dentro del reactor.

La turbulencia natural que se origina por la producción de biogás provee mezclado interno y asegura un buen contacto efluente-biomasa en los sistemas UASB.

PARÁMETROS DE DISEÑO

Desde el punto de vista práctico, para el diseño conceptual del reactor UASB, se dividen los parámetros de diseño en:

- Parámetros primarios de diseño: Caudal y concentración. En el caso de aguas residuales domésticas el caudal es el parámetro decisivo. En aguas residuales industriales ambos parámetros deben tenerse en cuenta
- Parámetros ambientales: Temperatura, pH

- Parámetros que pudieran afectar el diseño o la operación.

Cuando no hay datos locales sobre la biodegradabilidad anaeróbica del agua residual, se puede utilizar la relación DBO/DQO como indicador, si se considera que los compuestos degradables bajo condiciones aeróbicas también podrán ser degradados bajo condiciones anaeróbicas. La biodegradabilidad anaeróbica se define como el porcentaje de la DQO presente en una muestra orgánica que se puede transformar en metano bajo condiciones anaeróbicas. También se conoce como el porcentaje de metanogénesis, y puede ser visto como el análogo anaeróbico de la DBO, que representa la biodegradabilidad aeróbica de una muestra. El conocimiento en la biodegradabilidad anaeróbica de las aguas residuales puede ser una primera orientación de la aplicabilidad potencial del tratamiento anaeróbico. En el caso de aguas residuales domésticas (ARD), alrededor del 70% de la DQO es degradable anaeróbicamente. Una relación DQO/DBO cercana a 2 se considera una buena indicación de que el agua residual es biodegradable anaeróbicamente. Cuanto mayor sea esta relación, menor será la biodegradabilidad. Como se puede ver, una vez que se determinó la viabilidad de aplicar el tratamiento anaeróbico a las aguas residuales del caso bajo estudio, el número de parámetros primarios necesarios para diseñar el reactor es relativamente bajo

El parámetro externo que más afecta el diseño y la operación es la fluctuación horaria, diaria, semanal o mensual de caudal. Si estas fluctuaciones son demasiado pronunciadas, pueden obligar a incluir un tanque de compensación o a aumentar demasiado el volumen del reactor. Las variaciones normales observadas para las ARD son normalmente bastante pequeñas, en magnitud y duración, y es posible despreciarlas.

SUPOSICIONES BÁSICAS TRH y COV

El punto más delicado de todo el proceso de diseño es la selección del Tiempo de Retención Hidráulica (HRT) y la carga orgánica (CO) apropiada. El TRH es el tiempo que las aguas residuales permanecerán en el reactor y debe ser suficiente para asegurar un tratamiento apropiado: Donde

$$TRH = V/Q$$

TRH = tiempo de retención hidráulica (h)

V = volumen (m³)

Q = caudal (m³/h)

Por otra parte, la CO es la cantidad de materia orgánica que se introducirá en el reactor. Si se expresa por unidad de volumen del reactor, es la carga orgánica “volumétrica” (COV):

$$COV = Q \cdot C / V = C / TRH$$

Donde:

COV = carga orgánica volumétrica (kgDQO/m³ .d)

C = concentración (kgDQO/m³)

La CO se puede también expresar en términos de la cantidad de materia orgánica alimentada al reactor por unidad masa de sólidos suspendidos volátiles (SSV), suponiendo que los SSV son una indicación de la cantidad de bacterias viables disponibles en el reactor. Esta CO se llama carga orgánica “específica” (COE) o carga “del lodo”:

$$COE = Q \cdot C / V \cdot X$$

Donde

COE = Carga Orgánica Específica (kgDQO/kgSSV.d)

X = Concentración activa de lodo en el reactor (kgSSV/m³)

Los valores de TRH y COV aplicable varían en función del tipo de aguas residuales, de las condiciones climáticas, del caudal y de otros factores.

Cálculo del volumen. - Se debe establecer si el reactor está limitado por la carga hidráulica o por la carga orgánica comparando el volumen del reactor calculado de las dos maneras siguientes:

$$V = TRH \cdot Q$$

despejando de la fórmula del TRH, Y:

$$V = Q \cdot C / COV$$

usando la fórmula de la COV.

El volumen más alto indicará el tipo de limitación existente. En nuestro caso de estudio, teniendo en cuenta que no se cuenta con información de cargas y por ser agua residual doméstica, la limitación es claramente hidráulica.

Usando los datos proporcionados por el diseño del sistema de alcantarillado, se calculan los caudales medios y máximos previstos.

Área del reactor. - El área del reactor se calcula de la siguiente manera:

$$A = V/h$$

Donde

A = Área del reactor (m²)

h = Altura reactor (m)

Velocidad ascensional. Una vez que se calculó el área, la velocidad ascensional del líquido dentro del reactor se puede calcular de la manera siguiente:

$$V_{asc} = Q/A = h/TRH$$

Donde Vasc = Velocidad ascensional (m/h)

Número de módulos Para el estudio de caso, se consideró apropiado dos unidades de reactor UASB. La necesidad de construir más unidades tiene que ser discutida para cada sitio.

PARÁMETROS DE DISEÑO

En la siguiente tabla se incluyen los parámetros de diseño utilizados en este proyecto y, que provienen de la información del diseño de alcantarillado (caudales y cotas), valores

per cápita de carga orgánica sugerida por la resolución 0330 de 2017 (tabla 24) a falta de análisis realizados sobre el agua residual a tratar, factores pico para caudales máximo y datos poblaciones provenientes de información DANE con extrapolaciones al último año del período de diseño. Con las conversiones necesarias para usos posteriores.

PARÁMETRO	UND	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDALES				
Población actual, hab	hab	680	Pa	Población actual
población proyectada (a 25 años)	hab	961	P	Población proyectada
Caudal de Diseño Actual	l/s	4,06	QDa	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Actual - horario	m3/hr	14,63	QDa	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Actual - diario	m3/dia	351,03	QDa	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Proyectado	l/s	4,89	QDp	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Proyectado - horario	m3/hr	17,59	QDp	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Proyectado - diario	m3/dia	422,12	QDp	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Real	l/s	5,85	QDR	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Real	m3/hr	21,05	QDR	Cálculo Caudales Alcantarillado
Caudal de Diseño Real	m3/dia	505,32	QDR	Cálculo Caudales Alcantarillado
Factor Pico Máximo Horario	-	4,00	FP	Tabla 23 Res. 0330 de 2017
Q. Pico Máx	m3/hr	84,22	QMAXp	Calculado con factor Tabla 23
Q. de Diseño	m3/hr	21,05	QDR	Caudal de diseño real (QDR)
Q. de Diseño	l/s	5,85	QDR	Caudal de diseño real (QDR)
Aportes DBO 5días, 20°C,	g/hab/dia	80,00	sugerido	Tabla 24 Res 0330/2017
Aportes Sólidos en suspensión,	g/hab/dia	80,00	sugerido	Tabla 24 Res 0330/2017
Aportes NH3-N,	g/hab/dia	8,40	sugerido	Tabla 24 Res 0330/2017
Aportes N, Kjeldahl total como N,	g/hab/dia	12,00	sugerido	Tabla 24 Res 0330/2017
Aportes Coliformes totales,	#/hab/dia	2xE+11	sugerido	Tabla 24 Res 0330/2017
Aportes DBO 5días, 20°C,	kg/dia	76,89		$Kg * P / (1000 \text{ g} * \text{dia})$
Aportes Sólidos en suspensión,	kg/dia	76,89		$Kg * P / (1000 \text{ g} * \text{dia})$
Aportes NH3-N,	kg/dia	8,07		$Kg * P / (1000 \text{ g} * \text{dia})$
Aportes N, Kjeldahl total como N,	kg/dia	11,53		$Kg * P / (1000 \text{ g} * \text{dia})$
Aportes Coliformes totales,	#/dia	1,92E+12		$\# * P / (1000 \text{ g} * \text{dia})$
VALORES DE LABORATORIO, OBTENIDOS DE APORTES PER CÁPITA SUGERIDOS (Tabla 24 Res. 0330/2017)				
DBO Afluente	mg/l	152		$(\text{kg DBO}/\text{dia}) * 1000 / (\text{m}^3 \text{ AR}/\text{dia})$
DBO Afluente	kg/m3	0,152		
Relación DQO/DBO		1,50		Recomendada
DQO Afluente	mg/l	228		$DQO = 1,5 * DBO$
DQO Afluente	kg/m3	0,228		C
Sólidos en suspensión	mg/l	152		$(\text{kg SS}/\text{dia}) * 1000 / (\text{m}^3 \text{ AR}/\text{dia})$
NH3-N, Afluente	mg/l	16		$(\text{kg NH}_3\text{-N}/\text{dia}) * 1000 / (\text{m}^3 \text{ AR}/\text{dia})$
N, Kjeldahl total como N, Afluente	mg/l	23		$(\text{N, kjeldahl}/\text{dia}) * 1000 / (\text{m}^3 \text{ AR}/\text{dia})$
Cantidad de MO por unidad de v. reactor	kg DQO/m3*d	0,68		$COV = C / (THR/24)$
Volumen Reactor	m3	168,44		$V = Q * C / COV$

DISEÑO REACTOR UASB

En la siguiente tabla se presenta el dimensionamiento del reactor con las respectivas relaciones utilizadas y su procedencia

DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)					
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR UN SOLO REACTOR	VALOR UN REACTOR DE DOS	FORMULA
	Q DE DISEÑO REAL	L/S	5,85	2,92	Tabla parámetros de diseño
	Q DE DISEÑO	M3/H	21,05	10,53	Tabla parámetros de diseño
	Q DE DISEÑO	m3/día	505,32	252,66	Tabla parámetros de diseño
	TIEMPO DE RETENCIÓN - Temperatura >26	h	8	8	>6 Tabla 31 Art. 191 Res. 0330/2017
	VOLUMEN	m3	168,44	84,22	
	H TOTAL	m	5,4	5,4	
	PROFUNDIDAD LAMINA DE AGUA	m	5	5	
	AREA TRANSVERSAL	m2	33,69	16,84	
	DIÁMETRO SI ES CILINDRICO	m	6,55	4,63	
	SI ÁREA CUADRADA	m	5,80	4,10	
	DBO AFLUENTE	mg/L	152		
	CARGA DBO	kg/día	77		
	TEMPERATURA	°C	30		
	VELOCIDAD ASCENSIONAL	m/h	0,63	0,5 - 0,70	Tabla 32 Art. 191 Res. 0330/2017
	CARGA ORGÁNICA	kg DBO/m3*día	0,46	<1	<1
	Tipo de Lodo (floculento Tabla 33)	Kg SST/m3	152,16	CO aplicada <1	Para área de influencia distribuidores de flujo
	EFICIENCIA DEL REACTOR	%	65,00%	65 - 80	Tabla 29 Art. 184 Res. 0330/2017

El dimensionamiento original considera una forma cilíndrica o una cuadrada. La forma cilíndrica sería adecuada para el reactor a diseñar, pero, teniendo en cuenta las dificultades constructivas por la poca experiencia en la zona en la construcción de grandes superficies cilíndricas, se opta por una cuadrada (o rectangular).

En este tipo de reactores se definen dos zonas principales: Zona de Digestión y Zona de sedimentación (y separación de fases). Teniendo en cuenta que son aguas relativamente diluidas, se optó por buscar una mayor concentración en la zona de digestión para una mejor eficiencia en la formación de gránulos, para ello, se

disminuye esta área, compensando una mayor área en la zona de sedimentación (y separación de fases). Con ayuda del AutoCAD, se dibuja el reactor manteniendo las distancias recomendadas por la norma para la ubicación del separador trifásico. Se dimensiona el reactor manteniendo el volumen originalmente calculado, como se indica en el plano.

Obteniendo el siguiente dimensionamiento:

Caudal para un reactor = 2.92 l/s (10.53 m³/h)

Volumen para un reactor = 84.22 m³

Altura total del reactor = 5.4 m

Altura lámina de agua = 5.0 m

Ancho superior del reactor = 4.70 m (supuesto)

La zona de sedimentación se ubica en la parte superior y la de digestión en la parte inferior, ambas con una altura de 2.50 m, pero el ancho se reduce a 2.50 m en la zona de digestión para una mayor eficiencia en razón a un mejor contacto entre las partículas.

La altura de la zona de sedimentación se selecciona en 2.50 m ya que según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017, este es el valor de la altura que es ocupada por el separador trifásico (GLS). De acuerdo al mismo artículo y resolución, el ángulo de las paredes del separador (GLS) es de 45° y la velocidad ascensional líquida máxima permitida es de 1 m/h.

Los dos reactores son completamente sellados, a cada uno llega un tubo procedente de una bifurcación hecha a la salida de la canaleta Parshall, cada tubo entra por la parte superior y desciende al fondo de donde alimenta a todo lo largo del reactor mediante tubería perforado PVC 6" y sellado al extremo, corresponde a

la zona donde existe mayor concentración de gránulos originados en la digestión. El agua residual digerida asciende hacia la parte superior (zona de sedimentación) donde se presenta la separación de las tres fases (líquida, gránulos que arrastrados y gas producido - rico en metano). El agua residual digerida y sedimentada se colecta en canaletas construidas en poliéster reforzado con fibra de vidrio (dos por reactor) las cuales se empalman a una tercera canaleta interna donde, en forma sellada, se empalma a una tubería que va al fondo del reactor aeróbico (por debajo de los módulos de sedimentación). La misma distribución de canaletas para coleccionar los líquidos dirigidos se realiza en ambos reactores, por lo que al aireador llegan dos tuberías, una por cada reactor.

El gas se separa por la cúpula del separador trifásico, la cual, forma una cámara a todo lo largo del reactor por encima del nivel líquido del reactor. Este separador es construido en poliéster reforzado en fibra de vidrio o material plástico reforzado similar y la salida del gas, a criterio del diseñador, puede ser por uno o dos extremos del separador o por la parte intermedia de acuerdo al uso que se le vaya a dar, así, si va directamente a ser quemado a la atmósfera se puede conducir por un tubo en forma de chimenea instalado en el centro de la cámara de gases del separador trifásico, si se va a oxidar en el reactor se puede alimentar directamente a la masa de agua o inyectarse en la tubería que conduce el agua digerida aprovechando el efecto sifón en el descenso o alimentarse a un sistema de aprovechamiento que puede ser para encendido de lámparas a gas para iluminación en galpones u otro uso, la salida puede ser por los extremos de la cámara.

El cálculo para la longitud del reactor y el dimensionamiento del separador trifásico se muestra en la tabla con todas sus relaciones:

CÁLCULOS PARA LONGITUD DEL REACTOR					
Parte superior zona sedimentación	m3		V1 = 4.70		$V1 = 1.0 \text{ m} * 4.70 * L$
Inferior de la zona de sedimentación)	m3		V2 = 5.5		$V2 = 1.53 \text{ m} * ((4.70 \text{ m} + 2.50 \text{ m})/2) * L$
Superior zona de digestión	m3		= 4.08 * L		$V3 = 1.63 \text{ m} * 2.50 \text{ m} * L$
Inferior zona de digestión	m3		V4 = 1.45 *		$V4 = 1.00 \text{ m} * ((2.50 \text{ m} + 0.40 \text{ m})/2) * L$
Canal de llegada tubería	m3		V4 = 0.10 *		$V5 = 0.25 \text{ m} * 0.40 \text{ m} * L$
Volumen del reactor	m3	168,44	84,22	15,84	umas de zonas, volumen calculado Tabla 1:
Longitud el Reactor	m	5,32	5,32	2 m3/	Por despeje de fórmula
DIMENSIONAMIENTO DEL SEPARADOR TRIFÁSICO					
la velocidad ascensional líquida máxima permitida en el punto más bajo del GLS	m/h	1	1	Vasc	Art. 191 de la Res. 0330 de 2017
el ángulo de las paredes del separador GLS.	Grados	45	45		Art. 191 de la Res. 0330 de 2017
Altura del reactor que es ocupada por el separador GLS	m	2,5	2,5		Según el Art. 191 de la Res. 0330 de 2017
Ancho del reactor en base del separador	m	6,76	3,38		Medido en plano
Area del reactor en base del separador	m2	35,96	17,98		Ar en base GLS= Base * Largo
El área del separador trifásico (A_{GLS}) - Base	m2	21,05	10,53		$A_{GLS} = Q / V_{asc} GLS$
Área paso entre separador y lado reactor, A apertura	m2	14,91	7,45	AGLS	$A_{apertura} = A_{reactor} - A_{GLS}$
Altura del separador GLS	m	1,62	1,62	hGLS	$H = h_{GLS} / h_{lamina\ agua} = 30\%$
Ancho del separador trifásico W_{GLS}	m	4,73	2,37	WGLS	$W_{GLS} = A_{GLS} / L_{GLS}$

El gas que abandona la fase líquida queda retenido en la cámara formada entre el nivel de agua del reactor y la parte superior de separador, cuyo dimensionamiento se muestra a continuación, y que tienen en cuenta la producción volumétrica del metano de acuerdo a los supuestos de cargas de materia orgánica:

PARÁMETRO	UND	VALOR UN SOLO REACTOR	VALOR UN REACTOR DE DOS		FORMULA
ÁREA Y ANCHO DE LA INTERFASE LÍQUIDO GAS					
DQO del influente	kg DQO/m ³	0,228		So	$DQO = 1,5 \cdot DBO$
DQO del efluente	kg DQO/m ³	0,180		S	Permitido norma: Res. 631 de 2015
Caudal del Influyente	m ³ /d	505,32		Q	
Coefficiente de producción de sólidos del sistema	kg DQO lodo/kg DQO app	0,15	Yobs	omec	0,11 a 0,23 kg DQO lodo/kg DQO app
Carga de DQO convertida en metano	kg DQO _{CH4} /d	6,73			$DQO_{CH4} = Q \cdot (So - S) - Y_{obs} \cdot Q \cdot So$
Producción Volumétrica de Metano	m³ CH₄/d	2,66	Q_{CH4}	Qg	$Q_{CH4} = DQO_{CH4} / K(t)$
Factor de Corrección por temperatura operacional del reactor	kg DQO/m ³	2,53	K(t)		$K(t) = P \cdot K_{DQO} / R \cdot (273 + T)$
DQO correspondiente a 1 mol de metano	64 g/mol)	64	KDQO		
Temperatura de operación del reactor	°C	35			Valor de referencia para reactores
Presion atmosférica	atm	1	P		
Constante universal de gas ideal	atm*L/mol*K	0,08206	R		
Área de la interfase gas - líquido	m ²	2,66	Ai		$Ai = Qg / Kg$
Velocidad de liberación del Biogás	m ³ gas/m ² .h	1	Kg		Velocidad de liberación mínima 1 m ³
Largo del separador	L	5,32			
Ancho de la interfase Gas - líquido	m	0,50		a	$a = Ai / L$

Estos dimensionamientos obtenidos se encuentran en los planos en AutoCAD de diseño.

El otro aspecto que se tuvo en cuenta fue la producción de lodos en el reactor UASB y que parte de él pasa a concentrar la zona de digestión y otra es arrastrado hacia el digestor aeróbico en donde saldrá lodo activado con buenas características para su posterior utilización. La siguiente tabla muestra los cálculos de producción de lodos.

PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS EN EL SISTEMA					
DQO del influente	kg DQO/m ³	0,228		So	
DQO del efluente	kg DQO/m ³	0,180		S	Permitido norma: Res. 631 de 2015
Caudal del Influyente	m ³ /d	505,32		Q	
Sólidos en suspensión Influyente	kg SST/m ³	0,228	(kg SS/día)/(m ³ AR/día)		De resolución 0330 2017
Sólidos en suspensión efluente	kg SST/m ³	0,090			Permitido norma: Res. 631 de 2015
Coefficiente de producción de sólidos del sistema	kg SST/kg COD app	0,17	Y	omed	0,11 a 0,23 kg DQO lodo/kg DQO app
Carga de DQO aplicada en el sistema	kg DQO _{CH4} /d	115,34			$DQO_{CH4} = Q*(S_o - S) - Y_{obs}*Q*S_o$
Producción de sólidos en el sistema	kg SST/d	19,61	Ps		$Ps = Y*COD_{app}$
ESTIMACIÓN VOLUMÉTRICA					
Producción de sólidos en el sistema	m ³ lodos/d	0,45	Vs		$Vs = Y*(Cs/100)$
Densidad del lodo		196,07			
Concentración de lodos en el sistema	%	0,228	Cs		

SISTEMA DE POSTRATAMIENTO

Teniendo en cuenta que los reactores UASB no eliminan totalmente los agentes contaminantes de las aguas residuales, puede ser necesario incorporar algunos procesos de post-tratamiento con la finalidad de remover la DQO restante, eliminar microorganismos patógenos, y reducir la concentración de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Lo anterior es precisamente lo que se busca con el diseño de un reactor aeróbico, el cual, se ha acondicionado para que actúe como sedimentador de los sólidos digeridos.

El reactor aeróbico utiliza proceso de aireación, el cual, consiste en poner el agua en contacto íntimo con el aire. Para los procesos de tratamiento de aguas

residuales, el objetivo principal de la aireación es el de proporcionarle a los microorganismos el oxígeno necesario para que realicen sus procesos de transformación y degradación de la materia orgánica contaminante.

Es un reactor completamente abierto para un mejor contacto con oxígeno del aire y salida de gas producto de la digestión aeróbica, básicamente CO₂ como producto final gaseoso.

El reactor es alimentado con las aguas digeridas anaeróbicamente del reactor UASB, la cual, lleva lodo activado de arrastre que no alcanza a precipitar en el anaeróbico. Además, este reactor puede tratar los gases ricos en metano procedentes del UASB como una alternativa ambiental consistente en no enviar a la atmósfera gas metano por sus efectos invernadero. El metano en el reactor aeróbico oxida produciendo dióxido de carbono y agua que no tienen problemas de efecto invernadero.

En el postratamiento se recomienda un sedimentador seguido del reactor aeróbico para precipitar los lodos generados en el sistema. Los lodos son tratados mediante filtración bien para su uso en compostajes o para su disposición final. Esta unidad es obviada en este diseño pues se obliga a la sedimentación de los lodos con el uso de módulos de sedimentación de 1.04 m de altura y ángulo de inclinación de 60° con flujo cruzado para una mayor eficiencia.

DISEÑO DE REACTOR AERÓBICO CON SEDIMENTACIÓN

A falta de información real de cargas contaminantes – sistema nuevo sin análisis de laboratorio, el diseño del reactor aeróbico se lleva a cabo con las características del agua residual típica recomendada por la resolución 0330 de 2017, por los niveles aceptables por la resolución 631 de 2015 y las recomendaciones bibliográficas.

Inicialmente, se dimensiona para reactor aeróbico de lecho fijo sumergido, de tal forma que los cálculos se basan en las cargas y productos obtenidos de las

reacciones de oxidación para obtener el volumen efectivo del tanque. A este volumen se le adiciona un volumen para lodo decantado, el cual será extraído periódicamente hacia un tanque de lodos. Para una mayor eficiencia en el contacto entre la materia orgánica y el oxígeno y una mejor separación de lodos, se utilizan módulos de sedimentación de flujo cruzado de 1.04 m de alto cubriendo toda el área del tanque. Los módulos de sedimentación acelerada están contruidos en ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) con inclinación en los panales de 60 grados, color azul o negro y pueden manejar cargas superficiales de 120 a 300 m³/m²*día, el flujo a través de los conductos tiene un número Reynolds < 200 es decir, laminar evitando de esta manera el arrastre y suspensión de los lodos sedimentados. El trabajo de bajas cargas obtenido para el reactor aeróbico (unos 25 m³/m²/d) permite una mayor eficiencia en los procesos biológicos, garantizando una velocidad menor a 1 cm/s, de acuerdo a la Resolución 0330 de 2017 para sedimentadores de flujo vertical.

Los módulos se ubican dejando un espacio mínimo de 1.60 m en la parte inferior, de tal forma que se permita el ingreso a una persona para mantenimiento interno. Los módulos tienen 1.04 m de profundidad y encima de ellos queda el agua digerida y clarificada la cual se recibe en canaletas de poliéster reforzado en fibra de vidrio o construcciones similares, ubicadas de tal forma que cada lado cubra áreas similares y descarguen en un canal único para conectar tubería de salida hacia fuentes superficiales o para su reuso. Estas canaletas se usarán en el reactor UASB ubicadas a lo largo de la parte externa de los separadores trifásico una a cada lado comunicadas con una canaleta para conexión de salida.

La siguiente tabla muestra un balance de cargas al sistema y aproximaciones de remoción en los procesos anteriores: Tratamiento primario y reactor anaeróbico para finalmente obtener el dimensionamiento del tanque de aireación con sedimentación:

BALANCE DE CARGA EN EL SISTEMA					
ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR	SÍMBOLO	FORMULA
	CAUDALES DE DISEÑO				
	Caudal real de diseño Agua Residual	m3/DIA	505,32	V	
	Caudal real de diseño Agua Residual	m3/hr	21,05	Qh	V/24
	Q. Pico Máx Actual	m3/hr	84,22	QMAX	
	DBO Afluente	mg/l	152		
	Carga DBO afluente	kg/día	76,89		A comparar abajo
	CARGAS AL REACTOR ANAEROBIO - UASB				
	CARGA ORGÁNICA/HAB	g/hab-día	80,00	q	
	DBO5 TOTAL	kg DBO/día	76,89	LT	q*P/1000
	REDUCCIÓN DE LA DBO	%	90	Eb	
	CARGA MÁXICA	kg DBO/kg-MLSS-D	0,10	Ls	0,05 - 0,25
	Concentración lodos activados	KG/M3	4	M	será lodos activados aplicados 3 - 6
	CARGA NITRÓGENO	g N/ca-día	8,40	n	
	N-NH4 TOTAL	kg NH4-N/día	8,07	LN	n*Pp/1000
	CARGA HORARIA N-NH4	kg NH4-N/hr	0,81	LNd	LN/10
	REMOCIÓN EN TRATAMIENTO PRELIMINAR Y UASB - CARGAS AL SEDIMENTADOR AIREADO				
	REMOCIÓN EN PRIMARIO Y UASB	%/100	0,5	rp	Supuesta
	CARGA AL TANQUE DE AIR.	kg DBO/DIA	38,45	L	LT*rp
	PESO SECO LODOS	kg-MLSS	384,46	WL	L/Ls
	PRODUCCIÓN DE LODOS	kg MLSS/DIA	12,22	PL	$(1/2)*(Ls^{**}0,23)*(Eb/100)*L/2$
	PESO SÓLIDOS	%	0,5	PS	
	PESO DE AGUA	%	99,5	PA	
	DENSIDAD DE LODOS	kg/m3	5,00	DL	$(PS/100)*1000$
	VOLUMEN DE LODOS	m3 MLSS/DIA	2,44	VL	PL/DL
	N LODO EXCESO	kg N/día	0,73	Nlex	PL*6/100
	EDAD DEL LODO	DIAS	31,45	Le	WL/PL
	DIMENSIONAMIENTO TANQUE AIREACIÓN CON SEDIMENTACIÓN				
	VOLUMEN EFECTIVO TANQUE	m3	96,11	VT	WL/M
	PARA TANQUE CUADRADO:				
	BORDE LIBRE	m	0,4	BL	
	ALTURA TOTAL	m	5	HT	H+BL
	LADO DEL TANQUE	m	4,75	I	AT**0,5
	PROF. LAMINA DE AGUA	m	4	H	SE RECOMIENDA DRAFT TUBE
	ÁREA TANQUE AIR.	m2	96,11	AT	VT/H
	SE CONSTRUYE TOLVA PARA LODOS:				
	ANCHO SUPERIOR	m	4,9		
	ANCHO INFERIOR	m	0,4		
	PENDIENTE	GRADOS	15,00		
	ALTURA TOLVA	M	0,60		
	VOLUMEN TOLVA	M3	7,79		
	VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE	M3	103,91		
	ALTURA TOTAL LÁMINA DE AGUA	M	4,60		
	MÓDULOS DE SEDIMENTACIÓN ACCELERADA: Material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), inclinación 60° color azul o negro con protección UV. Cal 40 Carga superficial 120 a 300 m3/m2*día flujo ascendente tipo laminar (flujo cruzado)				
	Largo	m	4,90		
	Ancho	m	4,90		
	alto	m	1,04		
	Altura del Fondo del cono a la base módulo	m	2,40		Altura libre por debajo debe ser por lo menos 1.60 m
	Distancia de parte superior módulo a borde interno del tanque	m	1,21		
	altura total del tanque	m	4,65 m		

Para el cálculo del tiempo de aireación se parte del caudal de agua residual digerida y el volumen del tanque de aireación. Los requerimientos de oxígeno se obtienen por relaciones con las cargas orgánicas de materia orgánica disuelta y en lodos y, si se opta por oxidar el metano, debe incluirse dicho consumo de oxígeno adicionándola a la obtenida en la respiración microbiana de la materia orgánica.

Los consumos reales quedan sujetos a condiciones analíticas reales y a la eficiencia real de cada etapa, lo cual, sugiere que al entrar en operación los sistemas debe obtenerse los consumos reales de oxígeno para ser suministrado en el aire que se inyecta mediante un soplador, que también debe ser recalculado.

En la siguiente tabla se muestra los procedimientos de cálculo para finalmente dimensionar el sistema de aireación.

Para el caso de los lodos activados obtenidos, se someten a tratamiento de filtración y preparación para su uso. Se deja esta opción como parte de la operación, pues se puede optar por su aprovechamiento o disposición final en rellenos sanitarios, o sitios adecuados para tal fin, incluyendo subproductos del tratamiento preliminar como los materiales sólidos retirados y las arena sedimentadas.

Los diseños en el sistema aeróbico consideran fundamentalmente los análisis de DBO en lugar de la DQO precisamente por estar dirigida a la biodegradabilidad aeróbica. Se espera que en este tipo de reactor se forme una fase sobrenadante rica en bacterias aeróbicas que sostienen el proceso de biodegradabilidad similar a lo que ocurre en los filtros biológicos en el tratamiento de agua potable en las pequeñas comunidades, en razón a ello, se recomienda que se utilicen canaletas colectoras un poco más profundas que las utilizadas en el reactor anaeróbico, conservando dicha fase en lugar de retirarla completamente.

La siguiente tabla muestra los cálculos y las relaciones utilizadas para cada caso.

ÍTEM	PARÁMETRO	UND	VALOR	SÍMBOLO	FORMULA
	TIPO DE AIREACIÓN	-	EXTENDIDA		
	t. AIREACIÓN TEÓRICO	HORAS	4,93	TTAT	VT/Qhp
	t. AIREACIÓN TEÓRICO	HORAS	4,93	TTAR	VT/Qhp SI >18 o <24
	CARGA VOLUMÉTRICA	Kg DBO/m3-d	0,40	CV	L/VT <0,7
	PROF. LAMINA DE AGUA	m	4,6	H	SE RECOMIENDA DRAFT TUBE
	ÁREA TANQUE AIR.	m2	22,59	AT	VT/H
	OXIGENACIÓN				
	TASA O2 RESPIRACIÓN M.O.	Kg O2/Kg DBO	0,5	a	
	TASA O2 RESPIRACIÓN ENDÓGENA	Kg O2/Kg MLSS-d	0,1	KRE	
	O2 NITRIFICACIÓN	Kg N/día	7,34	LNOX	LN-NIex
	TASA DE O2 PARA OXIDAR N	Kg O2/Kg N	3,5	ON	
	HORAS MAXIMA CARGA	Horas	24	h MAX	
	CARGA MÁSCA HORARIA	factor (1/Horas)	0,04	hhr	1/Hmax
	CONSUMO O2 LODOS ACTIVADOS				
	TASA O2 RESPIRACIÓN M.O.	kg O2/hr	0,72	O2S	hhr*a*Eb/100*L
	TASA O2 RESPIRACIÓN ENDÓGENA	kg O2/hr	1,60	O2E	(1/24)*KRE*WL
	O2 NITRIFICACIÓN	kg O2/hr	1,07	O2N	hhr*ON*LNOX
	CONSUMO TOTAL O2 LODOS ACT.	kg O2/hr	3,39	OL-h	O2S+O2E+O2N
	CAPACIDAD DE OXIGENACIÓN				
	CONCENTRACIÓN O2 (10°C)	g/m3	11,3	CL10	
	CONCENTRACIÓN O2 ACTUAL (14°C)	g/m3	8	CLT	6 PARA 2500 msnm y 8 a 0 msnm
	CONCENTRACIÓN O2 TANQUE	g/m3	2	CL	
	FACTOR USO O2 LODOS	-	0,9	A	
	FACTOR CORRECCIÓN TEMP.		0,8299	B	ver tablas
	CAPACIDAD DE OXIGENACIÓN	Kg O2/hr	5,89	Coh	(Oih/A)*(CL10/(CLT-CL))*B
	CWTR	Kg O2/BHP-HR	1,7		AQUATURBO
	POTENCIA	HP	3,47		
	DEMANDA DE HP		4,08	HP	
	SUMINISTRO DE AIRE				
	SUMERGENCIA DIFUSORES	m	4	Di	
	CONCENTRACIÓN O2 AIRE	Kg O2/m3 aire	0,28	CA	
	RAZÓN FLUJO DE AIRE ESPECÍF.	m3 aire/hr-m tubo	12	f	
	RAZÓN DE ABSORCIÓN ESPECIF.	%	5,4	n'	
	RAZÓN DE ABSORCIÓN	%	21,6	n	Di*n'
	CANTIDAD DE AIRE OXIG.	m3 aire/hr	97,43	AR	(Coh*100)/(n*CA)
	AIRLIFT				
	TASA DE RETORNO DE LODOS	%	20	Re	
	CAUDAL DE RETORNO	m3/h	4,21	Qre	Qhp*Re/100
	FACTOR AIRE RETORNO		1,2	fre	
	AIRE TOTAL REQUERIDO	m3/h	116,92	ART	(AR + AAL)*2
	AIRE TOTAL REQUERIDO	CFM	68,82	ART	
	TUBERÍA OXIGENACIÓN				
	LONG. TEÓRICA TUBERÍA OXIG.	m	8,12	Lta	(AR/f)
	LONG. TOTAL TUBERÍA OXIG.	m	8,12	Ltt	
	VELOCIDAD POR TUBERÍA	m/s	6	vt	
	DIÁMETRO TUBERÍA	in	0,63	dt	(4*(AR/3600)/(PI*vt))*0,5(100/12)
	CAPACIDAD TEÓRICA SOPLADOR				
	DENSIDAD AIRE	kg/m3	1,2	da	
	POTENCIA TEÓRICA	HP	2,52	P	(ART/3,6)*(Di+1)*da/(76*0,6)