Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Agricultura

“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA URBANIZACION EL PRADO – KM 15.5 CARRETERA A MASAYA - 2026”

Proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Br. Gustavo Adolfo Montalván Coronel
Carnet: 89-04363-8

Tutor:

MSc. Cesar Augusto Gómez

Abril de 2026
Managua, Nicaragua

Índice

I INTRODUCCION 1

II ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL 4

2.1 Estado actual del tema a nivel nacional e internacional 4

2.2 Referentes académicos y proyectos previos 4

2.3 Marco jurídico, normativo e institucional 5

2.4 Principios científicos y tecnológicos aplicables 6

2.5 Normas y estándares de referencia 6

III OBJETIVOS 8

3.1 Objetivo General 8

3.2 Objetivos Específicos 8

IV DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 9

4.1 Naturaleza o tipología del proyecto 9

4.2 Localización geográfica y contexto socioeconómico 9

4.3 Usuarios, destinatarios o protagonistas 11

4.4 Alcances y limitaciones explícitas 11

4.4.1 Alcances del proyecto 11

4.4.2 Limitaciones del proyecto 11

V FUNDAMENTOS TÉCNICOS 12

5.1 Introducción conceptual 12

5.2 Fundamentos teóricos del tratamiento de aguas residuales 12

5.3 Operaciones y procesos involucrados en el tratamiento propuesto 12

5.4 Requerimientos de calidad para efluentes tratados 13
5.5 Fundamentos teóricos del dimensionamiento de sistemas 13
VI METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO 15
6.1 Caracterización de aguas residuales 15
6.2 Evaluación de infraestructura existente 15
6.3 Diseño de unidades de tratamiento 16
6.4 Costos de inversión 16
6.5 Validación metodológica 16
VII RESULTADOS 17
7.1 Población a servir 17
7.2 Cálculo de caudal de diseño de agua residual 17
7.2.1 Caudal medio 18
7.2.2 Caudal mínimo 18
7.2.3 Caudal máximo 18
7.2.4 Caudal de Infiltración 19
7.2.5 Caudal de diseño 19
7.3 Comparativa de aguas residuales 20
7.4 Revisión del criterio de biodegradabilidad 21
7.5 Esquema del STARD 22
7.5.1 Prueba de estanqueidad 23
7.6 Sistema propuesto 24
7.6.1 Canal de entrada 25

7.8 Rejillas 28
7.8.1 Pérdidas en rejillas 29
7.9 Trampa de Grasas 33
7.9.1 Volumen de Trampa de Grasa (V_s): 34
7.9.2 Área de Trampa de Grasa (A_s): 34
7.9.3 Longitud de Trampa de Grasa (L_s): 35
7.9.4 Volumen de Trampa de Grasa a Qmin (Vm): 35
7.9.5 Altura para este caudal mínimo (H_m): 35
7.9.6 Altura del bafle (H_b): 36
7.9.7 Remociones en la Trampa de Grasa: 36
7.9.8 Remoción de la DQO a través de la grasa: 36
7.9.9 Remoción en la DBO a través de la grasa: 36
7.9.10 Carga de grasa (Qg): 37
7.9.11 Volumen de grasa (Vg): 37
7.9.12 Altura de la capa de la grasa (H_g): 37
7.9.13 Mantenimiento: (M) 37
7.10 Desarenador 38
7.10.1 Altura del agua (H_{agua}): 39
7.10.2 Radio Hidráulico (Rh): 40
7.10.3 Pendiente longitudinal (S): 40
7.10.4 Perdidas en el desarenador (Hf): 40
7.10.5 Volumen sedimentado (Vsed en litros): 40

7.10.6 Volumen requerido de tolva (Vt en m^3): 40
7.10.7 Altura de Tolva propuesta (Htolva): 0.60 m. Asumido 40
7.10.8 Volumen propuesto de tolva (Vtolva): 41
7.10.9 Altura Total del Desarenador (Htotal): 41
7.11 Tanque Séptico 42
7.11.1 Caudal de diseño (Qd) (ver Canal de Entrada) 43
7.11.2 Volumen útil para Almacenamiento de Lodos (Vld) 43
7.11.3 Volumen útil del tanque (V_{UT}): 44
7.11.4 Área del tanque (At): 44
7.11.5 Volumen real del tanque séptico (Vrt): 44
7.11.6 Longitud del tanque (L_T): 45
7.11.7 Volumen útil 1 (V1): 45
7.11.8 Volumen útil 2 (V2): 45
7.11.9 Longitud 1 (L1): 46
7.11.10 Longitud 2 (L2): 46
7.11.11 Área total de orificios (At): 46
7.11.12 Remociones en el tanque séptico 46
7.11.13 Remoción de sólidos suspendidos totales (SST) 46
7.11.14 Remoción de los sólidos sediméntales (SS) 47
7.11.15 Remoción de Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5)s 47
7.12 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) 49
7.12.1 Eficiencia del filtro (E_f) 49

7.12.2 Tiempo de retención hidráulico en el filtro (TRHf): 50
7.12.3 Volumen del líquido en el filtro (Vf): 50
7.12.4 Carga orgánica volumétrica (COV): 51
7.12.5 Volumen del medio poroso (Vmp): 51
7.12.6 Volumen útil del filtro (Vuf): 51
7.12.7 Área superficial del filtro (Asf): 51
7.12.8 Volumen real del filtro (Vrf): 52
7.12.9 Largo y Ancho del filtro (Lf y Af) 52
7.12.10 Número de puntos de alimentación (N_p): 52
7.12.11 Caudal a través de cada punto (Q_p): 53
7.13 Tanque de desinfección 54
7.14 Lechos de secado 54
7.15 Interconexiones entre unidades 56
7.16 Pozo de Infiltración (Descarga) 56
7.17 Presupuesto 58
VIII CONCLUSIONES 59
IX RECOMENDACIONES 61
X Bibliografía 62
XI ANEXO 64

Índice de Tablas

Tabla 1 – Parámetros de cumplimiento Decreto 21-2017 13

Tabla 2 - Dotación de agua potable. 17

Tabla 3 – Caudales de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales ... 20

Tabla 4 - Caracterización de aguas residuales domésticas 20

Tabla 5 – Datos para el dimensionamiento del canal de entrada 27

Tabla 6 – Resultados del Cálculo de Caudales 27

Tabla 7 – Resultados del Cálculo de Canal de Entrada 28

Tabla 8 - Información típica para el diseño de rejillas manuales 28

Tabla 9 - Valores de β de kirschmer 30

Tabla 10 – Datos de entrada para diseño de rejilla 32

Tabla 11 – Resultados de Cálculos para diseño de rejilla 33

Tabla 12 - Resultados de Cálculos para diseño de rejilla (continuación) 33

Tabla 13 – Información Típica para el Diseño de Trampas de Grasas 34

Tabla 14 – Datos para el dimensionamiento de la trampa de grasas 38

Tabla 15 - Resultados de Cálculos para diseño de Trampa de Grasas y Aceites . 38

Tabla16 - Información típica para el diseño de desarenadores 38

Tabla 17 – Datos de entrada para diseño de desarenador 41

Tabla 18 - Sedimentación de partículas 41

Tabla 19 – Resultados de Cálculos para diseño de Desarenador 42

Tabla 20 - Información típica para el diseño de tanque séptico 43

Tabla 21 – Datos de entrada para el diseño de la Fosa Séptica 48

Tabla 22 – Resultados de Cálculos para diseño de la Fosa Séptica..... 49

Tabla 23 – Datos de entrada para el diseño de FAFA 53

Tabla 24– Resultados de Cálculos para diseño de FAFA 53

Tabla 25 – Datos de entrada para el diseño de lechos 55

Tabla 26– Resultados de Cálculos para diseño de lechos de secado 55

Tabla 27– Resultados de Coeficiente de Permeabilidad k(cm/s) 57

Índice de figuras

Figura 1 - Microlocalización del proyecto 9

Figura 2 - Microlocalización del proyecto 10

Figura 3 – Relación de biodegradabilidad 21

Figura 4- Esquema existente (STARD) - Urbanización El Prado 22

Figura 5 - Esquema propuesto (STARD) - Urbanización El Prado..... 25

Figura 6 - Calculo hidráulicos de Interconexiones..... 56

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Población a servir ……17

Ecuación 2: Caudal medio (Qm) ……18

Ecuación 3: Caudal mínimo (Qmin)…… …..… 18

Ecuación 4: Caudal máximo (Qmax) …… 18

Ecuación 5: Caudal de diseño (Qd) ……...19

Ecuación 6: Tirante máximo (Hmax) ……..26

Ecuación 7: Velocidad máxima (Vmax) …… …26

Ecuación 8: Área mojada (At) ……..…27

Ecuación 9: Pérdida de carga (h) ……..…29

Ecuación 10: Ancho del canal (W)……..…30

Ecuación 11: Número de barras (Nb) ……31

Ecuación 12: Espacio libre efectivo entre barras (EL)…….… 31

Ecuación 13: Eficiencia en rejillas (ER) ……..…31

Ecuación 14: Área total en rejillas (AR) ……31

Ecuación 15: Área útil (Aur)……...… 31

Ecuación 16: Velocidad de paso por las rejillas (VP)…….... 32

Ecuación 17: Volumen de trampa de grasa (Vs) ……..34

Ecuación 18: Área de trampa de grasa (As) ……..34

Ecuación 19: Longitud de trampa de grasa (Ls) ……35

Ecuación 20: Volumen de trampa de grasa Qmin (Bm)……35

Ecuación 21: Altura para este caudal mínimo (Hm) ……35

Ecuación 22: Altura del bafle (Hb) ……..…36

Ecuación 23: Concentración de grasas y aceites a la salida $(G\ Y\ A)_s$ ……..…36

Ecuación 24: Concentración de DQO a la salida $(DQO)_s$ ……...36

Ecuación 25: Concentración de DBO_5 a la salida $(DBO_5)_s$ ……36
Ecuación 26: Carga de grasa (Qg) ……37
Ecuación 27: Volumen de grasa (Vg) ……37
Ecuación 28: Altura de capa de grasa (Hg) ……37
Ecuación 29: Mantenimiento (M) ……37
Ecuación 30: Altura del agua (Hagua)……39
Ecuación 31: Longitud (L) ……39
Ecuación 32: Radio hidráulico (Rh)……40
Ecuación 33: Pendiente longitudinal (S) ……40
Ecuación 34: Pérdida en el desarenador (Hf) ……40
Ecuación 35: Volumen sedimentado (Vsed)…… 40
Ecuación 36: Volumen requerido tolva (Vt) ……40
Ecuación 37: Altura de tolva propuesta (Htolva) ……40
Ecuación 38: Volumen propuesto de tolva (Vtolva) ……41
Ecuación 39: Altura total de desarenador (Htotal) …… 41
Ecuación 40: Caudal de diseño (Qd) ……43
Ecuación 41: Volumen útil para almacenamiento de lodos (Vld) ……43
Ecuación 42: Volumen útil del tanque (Vut) ……44
Ecuación 43: Área del tanque (At) ……44
Ecuación 44: Volumen real del tanque séptico (Vrt) …… 44
Ecuación 45: Longitud del tanque (Lt) ……45
Ecuación 46: Volumen útil 1 (V1) ……45
Ecuación 47: Volumen útil 2 (V2) ……45
Ecuación 48: Longitud 1 (L1) ……46
Ecuación 49: Longitud 2 (L2) ……46
Ecuación 50: Área total de orificio (At) ……46

Ecuación 51: Concentración de sólidos suspendido totales a la salida $(SST)_s$……46
Ecuación 52: Concentración de sólidos sediméntales a la salida $(S.Susp)_s$ ……47
Ecuación 53: Concentración de DBO_5 a la salida $(DBO_5)_s$ ……47
Ecuación 54: Concentración de DQO a la salida $(DQO)_s$ ……47
Ecuación 55: Concentración de nitrógeno a la salida $(N)_s$ ……..…47
Ecuación 56: Concentración de fosforo a la salida $(P)_s$ ……48
Ecuación 57: Concentración de grasas y aceites a la salida $(G\ Y\ A)_s$ ……48
Ecuación 58: Eficiencia del filtro (Ef) ……...50
Ecuación 59: Tiempo de retención hidráulico en el filtro (TRHf) ……50
Ecuación 60: Volumen del líquido en el filtro (Vf) ……..50
Ecuación 61: Carga orgánica volumétrica (COB) ……51
Ecuación 62: Volumen del medio poroso (Bmp) ……..51
Ecuación 63: Volumen útil del filtro (Vuf) ……51
Ecuación 64: Área superficial del filtro (Asf) ……..….51
Ecuación 65: Volumen real del filtro (Vrf) ……..….52
Ecuación 66 y 67: Largo y ancho del filtro (Lf y Af) ……52
Ecuación 68: Número de puntos de alimentación (N_P) ……52
Ecuación 69: Caudal a través de cada punto (Q_P) ……..….53

I INTRODUCCION

La urbanización El Prado en Ticuantepe representa un caso de los desafíos en el manejo de aguas residuales que enfrentan los desarrollos habitacionales en la periferia metropolitana de Managua. Este complejo habitacional, constituido por 150 viviendas y localizado en el Km 15.5 de la Carretera a Masaya, carece actualmente de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) funcional, a pesar de contar con infraestructura de alcantarillado sanitario. La situación actual genera condiciones antihigiénicas significativas, caracterizadas por la descarga de efluentes sin tratar en un sistema de lodos activados en desuso, lo que produce malos olores, proliferación de vectores sanitarios y un impacto ambiental progresivo en el entorno inmediato.

La relevancia de este proyecto de graduación radica en que aborda una problemática sanitaria-ambiental crítica mediante el diseño de un sistema de tratamiento técnicamente viable, normativamente compatible y económicamente sostenible. Según datos del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), más del 60% de los sistemas de tratamiento en urbanizaciones periféricas de Nicaragua presentan deficiencias operativas o se encuentran fuera de servicio, generando contaminación difusa en suelos y acuíferos. En el caso específico de la urbanización de El Prado, la ausencia de tratamiento adecuado ha propiciado la proliferación de zancudos, moscas y otros vectores, con especial impacto en la población infantil menor de 6 años, quienes son más vulnerables a enfermedades de origen hídrico.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto se sustenta en procesos de tratamiento adaptados a las características de las aguas residuales domésticas (alta carga orgánica, presencia de grasas y sólidos sedimentables, fluctuaciones de caudal), con sistemas de pretratamiento físico, tratamiento primario por sedimentación y tratamiento secundario mediante filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), cumpliendo con la NTON 05 -027-05 que Regular los Sistemas de tratamiento de aguas residuales y su reusó. Socialmente, contribuye a la protección de la salud de 750 habitantes y fortalece las capacidades locales mediante la capacitación de

operarios para el mantenimiento del sistema, promoviendo la equidad mediante la participación de mujeres en roles técnicos y de gestión. Ambientalmente, incorpora prácticas de sostenibilidad: los lodos generados se destinan a secado y estabilización para posible uso agrícola, y se propone reducir el impacto sobre los cuerpos receptores mediante un efluente que cumple con los parámetros del Decreto 21-2017 del MARENA.

Este enfoque integral garantiza que el proyecto no solo cumpla con los requisitos técnicos y normativos, sino que además genere beneficios tangibles en las dimensiones social y ambiental de la urbanización El Prado y su área de influencia.

Académicamente, el proyecto se articula con las líneas de investigación institucionales en saneamiento sostenible y gestión integral de recursos hídricos, promovidas por la Universidad Nacional de Ingeniería. Asimismo, se alinea con el Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano (PNLCP-DH) 2022-2026, que prioriza el acceso a servicios básicos de saneamiento y la reducción de enfermedades de origen hídrico en zonas periurbanas. El proyecto también responde a los lineamientos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para la implementación de sistemas descentralizados de tratamiento que operen por gravedad, minimicen el consumo energético y promuevan la sostenibilidad financiera mediante esquemas comunitarios de operación y mantenimiento.

El diseño propuesto se fundamenta en los principios de ingeniería sanitaria y se alinea con las competencias del Ingeniero Agrícola, integrando conocimientos en hidráulica, tratamiento de aguas, gestión de proyectos y normativa ambiental. Desde la perspectiva comunitaria, el proyecto responde a las necesidades expresadas por la directiva de la urbanización, quien ha priorizado la búsqueda de soluciones de bajo costo operativo, independencia energética y cobertura total de las viviendas. Técnicamente, el sistema trabajará en tres niveles de remoción de contaminantes: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y desinfección, con posibilidad de incorporar tratamiento terciario según los requerimientos del cuerpo receptor.

En función de los objetivos específicos planteados, el informe final se estructura en los siguientes capítulos:

1. Antecedentes y marco legal (contexto sectorial, normativo y experiencias regionales);
2. Fundamentos técnicos (principios de operaciones y procesos unitarios, normativas de calidad de agua, y sostenibilidad);
3. Metodología (basado en calidad y cantidad de agua a tratar, esquema de procesos unitarios, porcentajes de remociones probados);
4. Resultados (valores por debajo de lo demandado en el decreto 21-2017 de Marena);
5. Conclusiones (síntesis de viabilidad a partir de los objetivos especificos); y
6. Recomendaciones (orientadas al auto sostenimiento a partir de las actividades de operación y mantenimiento y la capacitación de los operadores).

En el documento final se desarrolla secuencialmente los aspectos normativos, técnicos, metodológicos y económicos del diseño. El producto constituye una propuesta técnica validada que permitirá a la urbanización cumplir con el Decreto 21-2017 del MARENA y las Normas Técnicas Nicaragüenses vigentes, representando una contribución concreta al saneamiento ambiental y la salud pública en el municipio de Ticuantepe.

II ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

2.1 Estado actual del tema a nivel nacional e internacional

Desde finales del siglo pasado (1998), las instituciones del gobierno como: la Autoridad Nacional del Agua (ANA), La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) son las encargadas de la supervisión de los trabajos de remoción de contaminantes, en las aguas residuales domésticas e industriales.

Hoy en día, todas las instituciones públicas y privadas están obligadas a trabajar en aras de proteger y preservar el medio ambiente ajustando sus efluentes de acuerdo al decreto 21-2017, el cual dicta una normativa de calidad de agua a cumplir para estos efluentes antes de ser vertidos a un cuerpo receptor.

La urbanización El Prado, desde 2017 ha carecido de un STARD en funcionamiento, lo cual se manifiestan en problemas de la salud de la población. Es por esta razón, que los líderes de su directiva; están desarrollando iniciativas que permitan la elaboración de documentos técnicos que sirvan de base para la gestión y construcción del STARD a corto plazo

2.2 Referentes académicos y proyectos previos

Los avances en el tratamiento de aguas residuales para comunidades de pequeña y mediana escala evidencian un creciente interés por tecnologías pasivas y de bajo mantenimiento. En este contexto, se destacan los siguientes referentes académicos y experiencias prácticas:

1. Gómez, C. & Picado, A. (2023). *Evaluación de sistemas anaerobios compactos para tratamiento de aguas residuales domésticas en urbanizaciones del Pacífico nicaragüense*. Estudio técnico que compara la eficiencia de FAFA versus biodigestores anaerobios en condiciones similares a El Prado. Concluye que los FAFA presentan mejores rendimientos en la remoción de sólidos suspendidos (75-85%) y requieren menor tiempo de retención hidráulica (12-18 horas).

2. Organización Panamericana de la Salud (2022). *Guías para el diseño de sistemas de tratamiento descentralizados en América Central*. Documento técnico que establece parámetros de diseño para poblaciones entre 500-1,000 habitantes, recomendando caudales de diseño de 0.5-1.5 L/s y cargas orgánicas volumétricas de 1-3 kgDBO5/m^3·d para filtros anaerobios.

3. Universidad Nacional de Ingeniería (2021*). Proyecto de rehabilitación de planta de tratamiento para residencial Las Colinas, Managua.* Experiencia documentada que demostró la viabilidad de reutilizar infraestructura existente, logrando ahorros del 40% en costos de inversión mediante pruebas de estanqueidad y refuerzo estructural selectivo.

2.3 Marco jurídico, normativo e institucional

El desarrollo del proyecto se enmarca en un ordenamiento legal robusto, vigente al 2026:

- Ley Nº 217 Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Asamblea Nacional, 1996, con reformas 2020). Establece los principios de prevención, responsabilidad y sostenibilidad, y exige licencia ambiental previa para sistemas de tratamiento de aguas residuales (Art. 58).
- Decreto Nº 21-2017 Reglamento de Vertidos de Aguas Residuales (MARENA, 2017). Establece los límites máximos permisibles para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con implementación progresiva hasta 2029.
- Decreto Nº 45-2011 Reglamento de la Ley 217 (MARENA, 2011). Regula los estudios de impacto ambiental y los planes de manejo para proyectos de mediano impacto (Clasificación Categoría II).

A nivel normativo, son obligatorias las siguientes normas técnicas nicaragüenses (NTON):

- NTON 05-014-02 Normas para el tratamiento y vertido de aguas residuales domésticas (MARENA, 2002). Establece límites máximos permisibles: DBO5 ≤ 110 mg/L, SST ≤ 80 mg/L, pH entre 6.0 y 9.0, coliformes fecales según cronograma progresivo.

- NTON 09-007-19 Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento de Agua Potable (INAA, 2019). Define dotaciones por persona por día según zonificación, base para el cálculo de caudales de aguas residuales.

Las instituciones rectoras son:

- MARENA: otorga licencia ambiental y supervisa cumplimiento de efluentes.
- ANA: regula los sistemas de tratamiento y establece criterios de diseño.
- ENACAL: otorga permisos de conexión a alcantarillado
- MINSA: verifica condiciones sanitarias y control de vectores.

2.4 Principios científicos y tecnológicos aplicables

El proyecto se sustenta en tres pilares científicos:

1. Microbiología de procesos anaerobios: Utilización de consorcios microbianos anaerobios para la degradación de materia orgánica, con producción de biogás y lodos estabilizados. Los microorganismos metanogénicos operan en rangos de pH 6.5-7.8 y temperaturas de 25-35°C, condiciones naturales en Nicaragua.

2. Ingeniería hidráulica y de procesos: Diseño basado en balances de masa y energía, con énfasis en el control de velocidades de flujo, tiempos de retención hidráulica y cargas superficiales. El principio de sedimentación discreta y floculenta se aplica en las unidades de pretratamiento y primarias.

3. Economía circular aplicada al saneamiento: Aprovechamiento de subproductos mediante el principio de valorización de recursos. Los lodos anaerobios pueden utilizarse como mejoradores de suelo (previo tratamiento) y el efluente tratado para riego de áreas verdes.

2.5 Normas y estándares de referencia

Además de las normas nacionales, se adoptan como estándares de referencia voluntarios los siguientes marcos internacionales:

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24ª edición, 2023): Métodos analíticos para caracterización de aguas residuales.

- EPA Guidelines for Water Reuse (2012): Criterios para reúso de aguas tratadas en riego.
- ISO 14001:2015: Sistemas de gestión ambiental. Base para el diseño del Plan de Gestión Ambiental (PGA).

En síntesis, el marco legal y técnico nacional es suficiente para la puesta en marcha, mientras que los estándares internacionales guían la estrategia de optimización técnica. La combinación de normas obligatorias y voluntarias asegura que el proyecto sea técnicamente sólido, ambientalmente responsable y económicamente sostenible.

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la urbanización El Prado que garantice la remoción eficiente de contaminantes y el cumplimiento de los límites establecidos en el Decreto 21-2017, asegurando su viabilidad técnica, operativa y ambiental.

3.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar las aguas residuales domésticas de la urbanización El Prado mediante la revisión de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y contrastarlos con los valores de referencia de la NTON 1999 y el Decreto 21-2017.

2. Evaluar el estado de la infraestructura existente mediante pruebas de estanqueidad y funcionalidad, con el fin de reutilizar los componentes en buen estado y optimizar los costos de inversión.

3. Dimensionar las unidades de pretratamiento, tratamiento primario y secundario del sistema, considerando criterios de eficiencia, costos de operación y mantenimiento, y condiciones topográficas del terreno.

4. Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema propuesto, y evaluar su viabilidad económica mediante indicadores financieros básicos.

IV DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 Naturaleza o tipología del proyecto

El proyecto consiste en el diseño integral de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la urbanización El Prado, mediante la combinación de procesos físicos y biológicos que permitan la remoción de contaminantes hasta cumplir con los estándares de calidad establecidos en la normativa nicaragüense. Su tipología corresponde a un proyecto de infraestructura sanitaria y ambiental, enfocado en la implementación de tecnologías apropiadas para el contexto socioeconómico y técnico de la urbanización. El sistema propuesto integra operaciones unitarias de pretratamiento (rejillas, desarenador, trampa de grasas), tratamiento primario (tanque séptico) y tratamiento secundario (filtro anaerobio de flujo ascendente - FAFA), configurando una solución técnica robusta y de bajo mantenimiento.

4.2 Localización geográfica y contexto socioeconómico

Figura 1 - Macrolocalización del proyecto



Figura 2 - Microlocalización del proyecto



El proyecto se ubicará en el terreno actualmente destinado para la planta de tratamiento dentro de la urbanización El Prado, Km 15.5 Carretera a Masaya, Ticuantepe, departamento de Managua con coordenadas UTM 588110.59 E, 1330163.34 N. La zona presenta características topográficas favorables para sistemas por gravedad, con pendientes promedio del 2-3% que facilitan el flujo hidráulico entre unidades. El contexto socioeconómico de la urbanización corresponde a un estrato medio, con población principalmente empleada en actividades comerciales, de servicios y pequeña industria en Managua y municipios aledaños.

La región de Ticuantepe se caracteriza por su vocación agropecuaria y residencial, con una presión creciente sobre los recursos hídricos subterráneos debido al desarrollo urbanístico no planificado. La implementación del sistema de tratamiento contribuirá a recargar y proteger el acuífero local, actualmente afectado por extracciones excesivas de origen doméstico. La cercanía a la Carretera a Masaya facilita el acceso para actividades de operación y mantenimiento, así como el transporte de insumos y equipos.

4.3 Usuarios, destinatarios o protagonistas

Los usuarios directos del proyecto son los 150 hogares de la urbanización El Prado, con una población estimada de 750 habitantes (considerando 5 habitantes por vivienda). Los destinatarios indirectos incluyen a las comunidades aledañas que se benefician de la reducción de la contaminación ambiental y la protección de los recursos hídricos compartidos.

Los protagonistas del proyecto incluyen a la directiva de la urbanización, quien gestiona la implementación y futura operación del sistema; los futuros operarios del STARD, que requerirán capacitación específica; y las instituciones regulatorias (MARENA, ENACAL, ANA, MINSA) que supervisarán el cumplimiento normativo. Los proveedores de equipos, materiales de construcción y servicios de ingeniería complementan el ecosistema de actores involucrados.

4.4 Alcances y limitaciones explícitas

4.4.1 Alcances del proyecto

El proyecto contempla el diseño completo del sistema de tratamiento, incluyendo:

- Dimensionamiento hidráulico de todas las unidades
- Especificaciones técnicas de equipos y materiales
- Protocolos de operación y mantenimiento
- Análisis de costos de inversión y operación
- Evaluación de cumplimiento normativo

4.4.2 Limitaciones del proyecto

La variabilidad en la calidad del agua residual debido a hábitos de consumo

- La dependencia de la cooperación de los residentes para el mantenimiento del sistema
- La disponibilidad de espacio físico para posibles expansiones futuras
- La necesidad de capacitación continua para los operarios locales
- La estacionalidad de lluvias que puede afectar la construcción.

V FUNDAMENTOS TÉCNICOS

5.1 Introducción conceptual

El presente capítulo expone los fundamentos teóricos y técnicos que respaldan el desarrollo del proyecto de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la urbanización El Prado. Su finalidad es establecer una base conceptual clara, aplicada y coherente con las decisiones de diseño que se desarrollarán en los capítulos subsiguientes. Los fundamentos que aquí se integran permiten comprender los principios hidráulicos, procesos de tratamiento, criterios de dimensionamiento y parámetros de calidad que sustentan la viabilidad técnica del proyecto.

5.2 Fundamentos teóricos del tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se fundamenta en la aplicación secuencial de procesos físicos, químicos y biológicos para la remoción de contaminantes. Según Metcalf & Eddy (2014), el tratamiento convencional se estructura en cuatro niveles: pretratamiento (remoción de sólidos gruesos, arenas y grasas), tratamiento primario (sedimentación de sólidos suspendidos, flotación y digestión anaerobia), tratamiento secundario (degradación biológica de materia orgánica y nutrientes) y tratamiento terciario (desinfección y patógenos).

Para comunidades del tamaño de El Prado, los sistemas anaerobios han demostrado ser técnicamente apropiados debido a su baja demanda energética, producción reducida de lodos y alta eficiencia en remoción de carga orgánica. La teoría de digestión anaerobia establece que la materia orgánica es degradada mediante cuatro etapas consecutivas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, con producción final de metano y dióxido de carbono.

5.3 Operaciones y procesos involucrados en el tratamiento propuesto

El sistema propuesto integra las siguientes operaciones unitarias:

Pretratamiento:

- Rejillas: Remoción de sólidos gruesos mediante barras espaciadas
- Desarenador: Separación de arenas y grasas por diferencias de densidad

Tratamiento primario:

- Tanque séptico: Sedimentación y digestión anaerobia primaria

Tratamiento secundario:

- Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA): Degradación biológica mediante biopelícula adherida a medio soporte

Cada operación se diseña considerando parámetros críticos como tiempo de retención hidráulica, carga orgánica volumétrica, velocidades de flujo y eficiencias de remoción esperadas. Los fundamentos hidráulicos se basan en la ecuación de Manning para canales y la teoría de sedimentación discreta de Stokes para partículas.

5.4 Requerimientos de calidad para efluentes tratados

La calidad del efluente tratado debe cumplir con los límites establecidos en el Decreto 21-2017, los cuales se implementan progresivamente hasta 2029. Los parámetros críticos incluyen:

Tabla 1 – Parámetros de cumplimiento Decreto 21-2017

Parámetro	Valor
PH	6.0-9.0
SST	80 mg/L ≤
SS	1 mL/L≤
DBO_5	110 mg/L≤
DQO	220 mg/L≤
NT	30 mg/L≤
PT	10 mg/L≤
G&A	15 mg/L≤
Coliformes fecales	1×10^4 NMP/100 mL≤

El diseño debe incorporar márgenes de seguridad que permitan alcanzar estos estándares bajo condiciones variables de caudal y carga contaminante.

5.5 Fundamentos teóricos del dimensionamiento de sistemas

El dimensionamiento de sistemas de tratamiento se fundamenta en balance de masa, ecuaciones de diseño específicas para cada unidad y factores de seguridad

establecidos en normas técnicas. Para el cálculo de caudales se emplea el método de dotación per cápita, considerando coeficientes de retorno y factores de punta. El diseño hidráulico incorpora principios de flujo a superficie libre y flujo en presión, según corresponda a cada unidad.

VI METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

La metodología del presente proyecto de graduación se estructura en correspondencia directa con los objetivos específicos y con la naturaleza técnica, aplicada y de diseño que caracteriza un proyecto de ingeniería sanitaria. El proceso metodológico se fundamenta en la recopilación sistemática de información primaria y secundaria, la aplicación de normativa técnica vigente, el uso de ecuaciones y criterios de diseño normados en la Guía Técnica, y la modelación conceptual de los componentes del sistema de tratamiento.

6.1 Caracterización de aguas residuales

Para cumplir con el objetivo 1, se desarrolló un procedimiento metodológico basado en la revisión de datos históricos de caracterización proporcionados por la directiva de la urbanización, complementados con valores de referencia de la Guía Técnica para aguas residuales domésticas en Managua. Se realizó un análisis comparativo de parámetros críticos (DBO_5, DQO, SST, grasas y aceites, nitrógeno total, fósforo total) mediante tablas de contraste y análisis de brechas normativas. La relación DQO/DBO_5 se calculó para evaluar la biodegradabilidad del agua residual, fundamentando la selección de procesos biológicos.

6.2 Evaluación de infraestructura existente

Para el objetivo 3, se diseñó una metodología de evaluación basada en inspección visual y pruebas de estanqueidad, documentada mediante formatos estandarizados. La evaluación consideró:

- Estado estructural de unidades existentes
- Integridad de revestimientos y tanques
- Funcionalidad de dispositivos de entrada y salida
- Capacidad hidráulica actual versus requerida

Los componentes en buen estado se incorporaron al diseño final, mientras que las unidades deterioradas se consideraron para reposición.

6.3 Diseño de unidades de tratamiento

Para el objetivo 2, se aplicó una metodología de diseño secuencial por unidades, comenzando con el cálculo de caudales de diseño (medio, máximo y mínimo), seguido del dimensionamiento hidráulico de cada componente. Se utilizaron ecuaciones específicas para:

- Canal de entrada
- Rejillas
- Desarenador
- Tanque séptico
- FAFA
- Tanque de desinfección
- Lechos de secado

Los criterios de selección tecnológica incluyeron eficiencia de remoción, costos de operación y mantenimiento, experiencia local en implementación y compatibilidad con la infraestructura existente.

6.4 Costos de inversión

Para el objetivo 4, se implementó una metodología de costeo basada en:

- Listado de cantidades de obra por unidad de tratamiento
- Precios unitarios de materiales y mano de obra (referenciados a 2026)
- Costos de equipos y accesorios
- Gastos de operación y mantenimiento anualizados

La viabilidad económica se evaluó mediante indicadores simples como costo por habitante servido, costo por metro cúbico tratado y comparación con proyectos similares en la región.

6.5 Validación metodológica

La validación del diseño se realizó mediante revisión por pares, contraste con normativa técnica y verificación de cumplimiento de parámetros de calidad en efluentes. Cada unidad de tratamiento se diseñó con márgenes de seguridad del 15-20% sobre los valores mínimos requeridos, garantizando robustez operativa bajo condiciones variables.

VII RESULTADOS

7.1 Población a servir

Para estimar la población de la urbanización, se empleará un enfoque cuantitativo basado en el método de viviendas habitadas. Primero, se identificará el número total de lotes registrados (750 viviendas) y se verificará su ocupación mediante observación directa (5 habitantes/vivienda).

Una vez obtenido el número de viviendas este será multiplicado por la cantidad de habitantes por vivienda, como se presenta en la Ecuación 1.

$$Poblacion = Viviendas * Saturacion \qquad Ec.1$$

Así pues, para calcular la población a servir, se multiplicará el número de viviendas por el número de habitantes por vivienda para obtener la población total a servir.

Población = 150 x 5 = 750 habitantes

7.2 Cálculo de caudal de diseño de agua residual

Para calcular el caudal de diseño de la planta de tratamiento, se tomarán los valores de dotación por persona por día (Tabla 1) establecidos para las poblaciones del país en la Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento de Agua Potable (NTON 09-007-19) y se establecerá el criterio de valorar el caudal de agua residual, como un porcentaje (80%) del caudal de consumo de agua potable.

Tabla 2 - Dotación de agua potable.

Clasificación de Barrios	Dot. (lppd)
Zona de alta densidad	150
Zona de máxima densidad	170
Zona de densidad intermedia	300
Zona de media densidad	380
Zonas urbanas de densidad intermedia	490

Fuente: NTON-09-007-19.

7.2.1 Caudal medio

El caudal medio de agua residual se calculó con la Ecuación 2:

$$Q_m = \frac{Poblacion * Dotacion}{86400} * C_r \qquad Ec.2$$

Donde,

Qm = Caudal medio de aguas residuales en lps

Cr = Coeficiente de retorno (80%)

$$Q_m = \frac{750x150}{86400} x0.8 = 1.04\ lps$$

7.2.2 Caudal mínimo

Para el cálculo del caudal mínimo tenemos la Ecuación 3:

$$Q_{min} = \frac{Q_m}{5} \qquad Ec.3$$

Donde,

Qmin = Caudal mínimo de aguas residuales lps

$$Q_{min} = \frac{1.04}{5} = 0.21\ lps$$

7.2.3 Caudal máximo

Para el cálculo del caudal máximo tenemos que la Ecuación 4:

$$Qmax = F_{harmon}\ x\ Q_m \qquad Ec.4$$

Donde,

Qmax = Caudal máximo de aguas residuales en lps

F_{Harmon} = *Factor de Harmon, varia de 1.80 a 3.0.*

De acuerdo a la Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales vigente y en nuestro caso particular, dado que la población es menor a 1000 habitantes, se seleccionó 1.80.

$$Qmax = 1.80\ x\ 1.04 = 1.87\ lps$$

7.2.4 Caudal de Infiltración

La Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales señalan que el caudal de infiltración será:

- Para tuberías con juntas de mortero se les deberá asignar un gasto de 10,000 L/ha/día.
- Para tuberías con juntas flexibles se les deberá asignar un gasto de 5000 L/ha/día. Para tuberías plásticas 2L/hora/100 m de tubería y por cada 25 mm de diámetro.

En este caso, la red de alcantarillado es de cedula PVC SDR 41, de 150 mm o 6" de diámetro y con una longitud de 750 m. (asumiremos L = 800 m).

Haciendo la conversión a lps., para los 800 m., y 6" tenemos:

$$2L/hora/100/25\ mm\ = 5.55\ x10-4x8/25\ mm\ =\ 4.44x10-x\ 3\ /\ 6\ =\ 0.026\ lps$$

7.2.5 Caudal de diseño

El caudal de diseño del sistema de tratamiento se determinó con base en lo estipulado en las Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. De acuerdo con dicha guía la ecuación es la siguiente:

$$Qd = Qmax + Qinf \qquad Ec.5$$

$$Qd = 1.87 + 0.026 = 1.90\ lps = 0.002\ m3/s$$

Tabla 3 – Caudales de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

Cálculo	Valor	Unidad
Caudal Medio	1.042	lt/seg
	0.001	m^3/seg
Caudal Máximo	1.875	lt/seg
	0.002	m^3/seg
Caudal de Infiltración	0.027	lt/seg
	0.000	m^3/seg
Caudal de Diseño	1.902	lts/seg
	0.002	m^3/seg

7.3 Comparativa de aguas residuales

Para el dimensionamiento de la planta de tratamiento se consideraron como base los resultados de la caracterización fisicoquímica realizada en el año 2006 por la directiva de la urbanización El Prado. No obstante, con el objetivo de incorporar un factor de seguridad y garantizar la confiabilidad del diseño ante posibles variaciones en la carga contaminante, se procedió a contrastar estos valores históricos con los parámetros de calidad de aguas residuales estipulados en la **Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales INAA**, correspondiente al departamento de Managua. La Tabla 3 presenta la comparación entre ambos referentes.

Tabla 4 - Caracterización de aguas residuales domésticas

Parámetro	El Prado	NTON –1999
PH	-	6 – 9
Solidos suspendidos totales (mg/l)	250	636
Solidos sedimentables (ml/l)	-	51
Materia flotante	-	-
DBO_5 (mg/l)	300	306
DQO (mg/l)	480	614
Nitrógeno total (mg/l)	33.9	234
Fosforo total (mg/l)	-	31
Aceites y grasas totales (mg/l)	90	299

Fuente: Caracterización de aguas residuales para Managua, Urbanización El Prado vrs. Guía Técnica.

A partir del análisis comparativo, se adoptaron como valores de diseño los límites establecidos en la **Guía Técnica** para la mayoría de los parámetros, por representar las condiciones máximas esperadas en aguas residuales domésticas del sector y otorgar un margen de seguridad al dimensionamiento de los procesos unitarios.

No obstante, Se realizó una excepción con el nitrógeno total, cuyo valor normado de 234 mg/L se consideró elevado para aguas residuales domésticas sin aportes industriales significativos. Análisis en urbanizaciones de Managua reportan concentraciones entre 30 y 80 mg/L. Considerando que la caracterización de El Prado reportó 33.9 mg/L, se optó por este valor para el diseño, fundamentado en análisis locales, evitando sobredimensionar los procesos de remoción de nutrientes.

Esta decisión metodológica permite equilibrar la confiabilidad del diseño con la representatividad de las condiciones reales del agua residual a tratar, optimizando los recursos constructivos y operativos de la futura planta.

7.4 Revisión del criterio de biodegradabilidad

Dado que la selección de procesos unitarios físicos y biológicos generan grandes ventajas sobre los químicos, los tecnológicos y/o los de alto consumo eléctrico, no son la mejor elección. Por tanto, la revisión de la biodegradabilidad de las aguas residuales domesticas a tratar para su selección es básico. Las relaciones promedio para aguas residuales domesticas andan en el orden de 1.2 – 2.5:

Figura 3 – Relación de biodegradabilidad

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 1.2 - 2.5$$

Fuente: Guía Técnica, inciso 8.3.

Para determinar la viabilidad de emplear procesos biológicos convencionales en el tratamiento del agua residual de El Prado, se calculó la relación DQO/DBO_5 a partir de los valores establecidos como parámetros de diseño. Este índice constituye un parámetro fundamental en ingeniería sanitaria, ya que permite establecer la fracción de materia orgánica susceptible de ser degradada por vía biológica y,

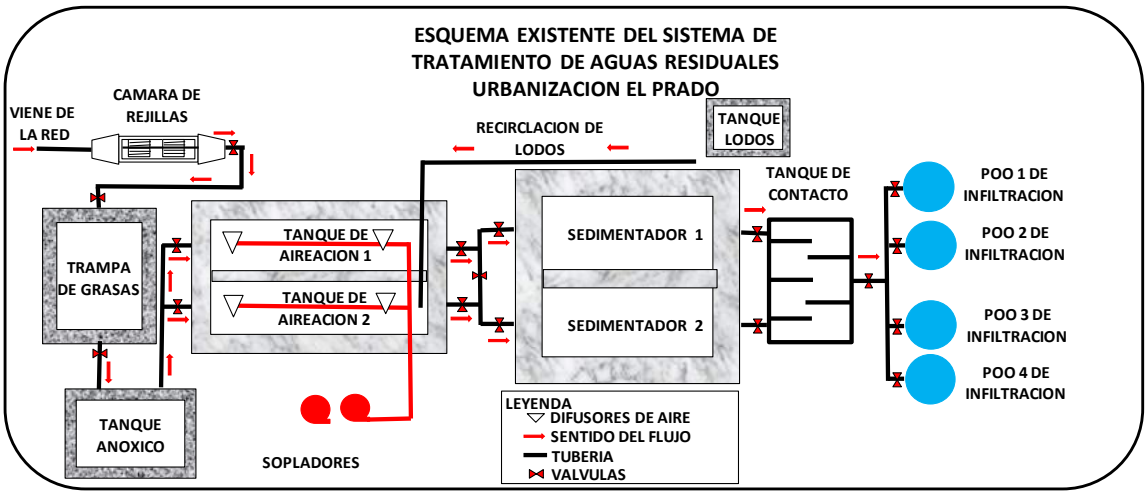
consecuentemente, orientar la selección de la tecnología de tratamiento más apropiada.

La relación obtenida para el agua residual de El Prado fue de 2.01, valor que se ubica en el límite inferior del rango de biodegradabilidad moderada. Esto confirma que la materia orgánica presente es predominantemente biodegradable, no obstante, la presencia de una fracción lentamente biodegradable hace necesaria la incorporación de consideraciones especiales en el diseño.

7.5 Esquema del STARD

A continuación, se presenta la configuración actual del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (STARD) de la Urbanización El Prado. El esquema existente, ilustrado en la Figura 1, ha sido elaborado con base en el levantamiento de campo y la revisión de la documentación técnica disponible.

Figura 4- Esquema existente (STARD) - Urbanización El Prado



Como se observa en la Figura 1, el tren de tratamiento actual inicia con la llegada del agua residual proveniente de la red de alcantarillado sanitario de la urbanización, la cual ingresa a una cámara de rejillas destinada a la remoción de sólidos gruesos y material flotante de gran tamaño. Posteriormente, el efluente pasa a una trampa de grasas, y luego a un tanque anóxico, cuya función teórica es la desnitrificación mediante la actividad de microorganismos en ausencia de oxígeno disuelto. A

continuación, el agua ingresa a un tanque de aireacion, donde se incorpora oxígeno al sistema mediante difusores de aire alimentados por sopladores, promoviendo la degradación aerobia de la materia orgánica.

El sistema contempla una línea de recirculación de lodos desde el tanque de aireacion hacia el tanque anóxico, con el objetivo de mantener la biomasa activa dentro del sistema y aprovechar la capacidad desnitrificante de los microorganismos. La separación sólido-líquido se realiza en dos unidades de sedimentación dispuestas en serie. Finalmente, el agua clarificada es desinfectada y dispuesta en un pozo de infiltración, que constituye la obra de disposición final del efluente tratado.

7.5.1 Prueba de estanqueidad

Con el objetivo de evaluar la viabilidad estructural y operativa de las unidades existentes para su posible integración en una nueva configuración de tren de tratamiento, se procedió a someter dichas infraestructuras a pruebas de estanqueidad mediante el método hidrostático de acuerdo con lo estipulado en la norma UNE-EN 1610 para estructuras existentes en evaluación de reúso. Esta fase permitió verificar la integridad física de las estructuras y, posteriormente, establecer los Tiempos de Residencia Hidráulica (TRH) reales de cada unidad en función de sus dimensiones y condiciones de operación.

Previo a la prueba, se aislaron y limpiaron las unidades, eliminando todo residuo. Se llenaron con agua potable hasta el borde superior y se respetó un período de estabilización de 24 horas para saturar los materiales. Transcurrido este tiempo, se monitoreó el nivel durante 30 minutos, verificando visualmente la constancia de la cota hidráulica sin realizar adiciones de agua durante el ensayo.

La totalidad de las unidades evaluadas superó satisfactoriamente la prueba, evidenciando ausencia total de filtraciones o descensos en el nivel de agua. Este resultado confirmó la integridad estructural y estanquiedad de las infraestructuras existentes.

Los resultados obtenidos permitieron dimensionar y seleccionar los procesos unitarios complementarios necesarios para cumplir con los parámetros de descarga establecidos en el Decreto 21-2017 (Artículos 24 y 26).

7.6 Sistema propuesto

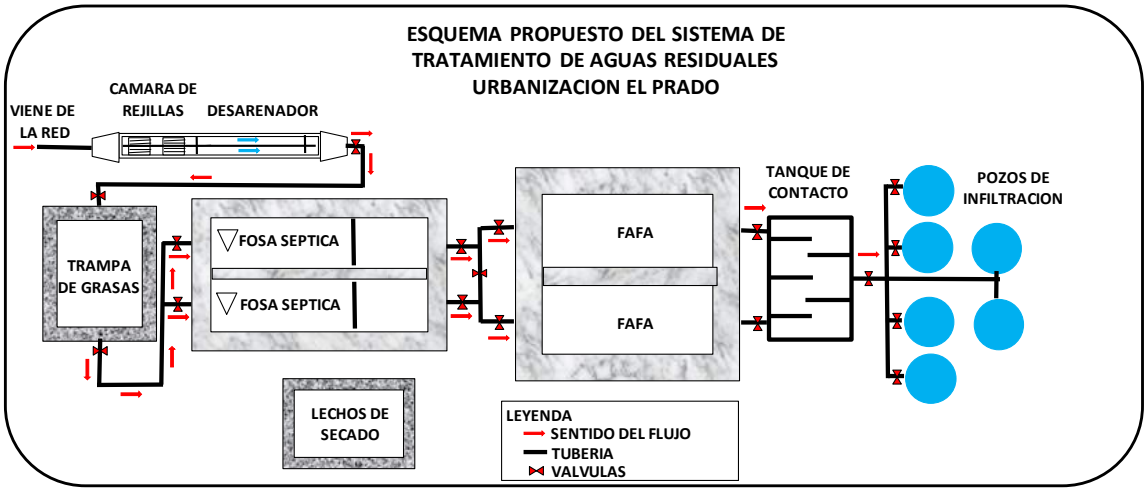
A partir de los resultados obtenidos en la evaluación de estanquiedad de las unidades existentes, la caracterización fisicoquímica del agua residual y la confirmación de su biodegradabilidad (relación DQO/DBO_5 = 2.01), se procedió al diseño de un nuevo tren de tratamiento que permita cumplir con los parámetros de descarga establecidos en el Decreto 21-2017 (Artículos 24 y 26) aplicable para la disposición y reusó de aguas residuales tratadas.

La configuración propuesta, que se ilustra en la Figura 2, ha sido concebida bajo dos premisas fundamentales:

1. Aprovechamiento de la biodegradabilidad del agua residual, dado que el valor de 2.01 en la relación DQO/DBO_5 confirma el carácter predominantemente biodegradable de la materia orgánica presente, se justifica técnicamente la selección de un tren de tratamiento basado en procesos biológicos de bajo costo y operación simplificada, en lugar de tecnologías avanzadas con mayores requerimientos energéticos y de mantenimiento.

2. Sostenibilidad económica y operativa, ya que, se priorizaron tecnologías que demandan bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, así como la reutilización de las unidades ya construidas, considerando las limitaciones presupuestarias.

Figura 5 - Esquema propuesto (STARD) - Urbanización El Prado



A como se puede observar en el esquema propuesto las nuevas modificaciones comprenden la construcción de un desarenador doble con pantalla a la salida, en el tanque de aireación se construirá una pantalla a fin de quedar trabajando como fosa séptica con dos cámaras. En el sedimentador secundario se instalará un filtro con material granular y se construirá una losa perforada para soportar el material. La propuesta comprende el respeto de la topografía actual. Finalmente, se propone techar las unidades que produzcan malos olores e incorporarles respiradero con una capa de carbón activado de 0.10 m de espesor y tubería metálica de H = 3 m., con D = 50 mm.

7.6.1 Canal de entrada

Previo al ingreso del agua residual a la cámara de rejillas, es necesario controlar la velocidad de flujo para garantizar condiciones hidráulicas adecuadas y evitar la sedimentación de sólidos en la conducción. Con este propósito, se dimensionó un canal de entrada de sección rectangular, cuyos parámetros de diseño se presentan a continuación.

Parámetros de diseño considerados:

- El ancho del Canal de entrada (b) estará en un rango entre 0.30 – 0.70 m.
- El bordo libre (Bl) estará a 0.30 m.

- El n de Manning será de 0.013.

7.8.1 Tirante máximo

Para determinar el tirante máximo que circulará por el canal en condiciones de caudal pico, se empleó la ecuación de Manning combinada con el concepto de factor de sección. El procedimiento consistió en igualar la expresión del factor de sección hidráulico requerido por el flujo con la expresión geométrica correspondiente a la sección rectangular, Ecuación 6:

$$(Qd\ x\ n)/\sqrt{S} = Hmax\ x\ B\ [(Hmax\ x\ B)/(B + 2Hmax)]^{2/3} \qquad Ec.6$$

Donde:

Qd = caudal medio o máximo en m^3/s

S = pendiente en m/m

Hmax = Tirante máximo en el canal en m. Se obtiene por tanteo.

B = ancho del canal en m.

Dado que la ecuación anterior no tiene solución analítica directa, se resolvió mediante un proceso iterativo de prueba y error (tanteo). Para ello, se asumieron sucesivos valores de tirante máximo (Hmax) hasta que el término de la derecha igualó al valor conocido del término izquierdo. Este método permitió determinar con precisión el tirante máximo esperado, simplificando el proceso de cálculo sin recurrir a métodos gráficos o numéricos complejos.

7.8.2 Velocidad máxima

La velocidad no debe ser menor a 0.40 m/s según Guía Técnica.

$$Vmax = \frac{Qd}{(b\ x\ Hmax)} \qquad Ec.7$$

Donde:

Vmax = Velocidad máxima en m/s. (≥ 0.4 m/s)

Qd = caudal medio o máximo en m^3/s

b = ancho del canal en m.

Hmax = Tirante máximo en el canal en m

7.8.3 Área mojada (At)

$$At = b\ x\ Hmax \qquad Ec.8$$

Donde:

At = área mojada en m^2

b = ancho del canal en m.

Hmax = Tirante máximo en el canal en m

Tabla 5 – Datos para el dimensionamiento del canal de entrada

Datos	Valor	Unidad
Población	750	hab.
Dotación	150	lppd
Ancho de Canal	0.16	m
Pendiente a lo largo del Canal	0.005	m/m
Coeficiente de Manning	0.013	
Borde Libre	0.30	m

Fuente: NTON-09-007-19.

Tabla 6 – Resultados del Cálculo de Caudales

Cálculo	Valor	Unidad
Caudal Medio	1.042	lt/seg
	0.001	m3/seg
Caudal Máximo	1.875	lt/seg
	0.002	m3/seg
Caudal de Infiltración	0.027	lt/seg
	0.000	m3/seg
Caudal de Diseño	1.902	lts/seg
	0.002	m3/seg

Tabla 7 – Resultados del Cálculo de Canal de Entrada

Datos	Valor	Unidad
Altura máxima	0.025	m
Altura Media	0.015	m
Velocidad máxima	0.475	m/s
Velocidad media	0.434	m/s
Área mojada	0.004	m2
Altura del Canal	0.50	m

7.8 Rejillas

Para el sitio del proyecto, el componente rejillas se diseñó en base a lo estipulado en la Guía Técnica, caracterización del agua residual, al espacio físico disponible del terreno y a la solvencia económica para este tipo de proyectos por parte de la directiva.

Los criterios de diseño para rejillas manuales según la Guía Técnica son los siguientes:

Tabla 8 - Información típica para el diseño de rejillas manuales

Parámetro	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Anchura (mm)	5-15	5-15
Profundidad (cm)	25-37.5	25-37.5
Separación entre barra (mm)	25-50	15 – 75
Angulo de la vertical(grados)	30-45	0- 30
Velocidad de aproximación (m/s)	0.30 – 0.60	0.60 –1.10
Perdida de carga admisible (m)	0.15	0.15

Fuente: Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. INAA.1999.

Como parte de los criterios de diseño adicionales de la Guía Técnica, se tendrá los siguientes:

- Las rejillas se colocará aguas arriba del resto de unidades de tratamiento que sean susceptibles de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar. El canal de aproximación a la rejilla será diseñado para prevenir la acumulación de arena y otro material pesado aguas arriba de esta. Además, tendrá una dirección perpendicular a las barras de las rejillas. Esto es acorde con la norma.

- La longitud de la rejilla de limpieza manual no debe exceder de lo que pueda rastrillarse fácilmente a mano.
- Las barras de la rejilla no deberán ser menores de 1 cm de anchura por 5 cm de profundidad.
- El canal donde se ubica la rejilla deberá ser recto, de fondo horizontal o con una pequeña pendiente hacia la rejilla y perpendicular a ésta.
- Los espaciamientos entre las barras de rejillas se seleccionarán para rejillas limpiadas manualmente.
- El tipo de rejilla más conveniente es la inclinada de limpieza manual, recomendada en la Guía Técnica para instalaciones que no sean excesivamente grandes.
- Para el dimensionamiento y una correcta operación de las rejillas, se utilizaron las ecuaciones y variables especificadas por Rodríguez.

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado para dimensionar cada uno de los elementos de la rejilla:

7.8.1 Pérdidas en rejillas

La pérdida de energía a través de la rejilla es función de la forma de las barras y de la altura o energía de velocidad del flujo entre las barras. Estas pérdidas, en una rejilla limpia se determinarán aplicando la ecuación de Kirschmer:

$$h = \beta(\frac{w}{b})^{4/3} \; x \; hv \; x \; sen \; \Theta \qquad Ec. 9$$

Donde:

h = pérdida de carga, m

β = factor de forma de la barra

w = profundidad de la barra, m

b = separación mínima entre barra, metro

hv = energía de velocidad del flujo de aproximación, m

Θ = ángulo de la rejilla con la horizontal.

Tabla 9 - Valores de β de kirschmer

Tipo de barra	β
Rectangular con aristas vivas	2.42
Rectangular con la cara aguas arriba semicircular	1.83
Rectangular con la cara aguas arriba y abajo semicircular	1.67
Circular	1.79

Fuente: Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. INAA 1999.

7.8.2 Ancho del canal (W):

$$W = \left[\frac{Qp}{VxD}\right]\left[\frac{B + S}{S}\right] + C \qquad Ec.10$$

Donde:

W: ancho del canal de rejillas: (m)

Q_p: caudal pico (m^3/s)

V: velocidad máxima del agua (m/s)

D: nivel del agua en la rejilla a caudal máximo (m)

B: ancho de barrotes (m)

S: espaciamiento entre barras (m)

C: coeficiente de seguridad (m)

Los valores de C para rejas finas, medias y gruesas son 0.1, 0.2 y 0.3m, respectivamente. Los valores de V, D, C, B, y S deben ser asumidos utilizando el caudal pico.

7.8.3 Número de barras (N_b):

$$Nb = \frac{W - B}{S + B} \qquad Ec.11$$

Donde:

Nb= número de barras (unidad)

7.8.4 Espacio libre efectivo entre barras (EL):

$$EL = [\, W - (Nb\ x\ S)\,] \,/\, (Nb + 1) \qquad Ec.12$$

Donde:

EL: espacio libre efectivo entre barras (m)

7.8.5 Eficiencia en rejillas (ER):

$$ER = \left[\frac{S}{S + B}\right] x\ 100 \qquad Ec.13$$

Donde:

ER: eficiencia de la rejilla (%)

7.8.6 Área total en rejillas (AR):

$$A_R = \frac{A_{ur}}{E_r} \qquad Ec.14$$

Donde:

AR: área total en zonas de la rejilla (m^2)

Aur: área útil de la rejilla (m^2)

Er: eficiencia de rejas (%)

7.8.7 Área útil (Aur):

$$Aur = \frac{Q_p}{V_h} \qquad Ec.15$$

Donde:

Aur: área útil de rejas (m^2)

Qp: caudal pico (m^3/s)

Vh**:** velocidad horizontal (m/s)

7.8.8 Velocidad de paso por las rejillas (V_P):

$$V_p = \frac{V_h}{E_r} \qquad Ec.16$$

Donde:

VP: velocidad de paso (m/s)

Vh: velocidad horizontal(m/s)

Er: eficiencia en rejillas (%)

Tabla 10 – Datos de entrada para diseño de rejilla

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Población	P	750	hab.
Dotación	Dot	150	lppd
Factor de Forma de la Barras	β	1.79	
Inclinación de Reja	θ	45	°
Separación entre Barra	S	0.05	m
Espesor Barra	t	1.27	cm
Ancho de barrotes	B	0.006	m
Ancho de Rejilla	b	0.45	m
Pendiente a lo largo del Canal	P	0.005	m/m
Coeficiente de Manning	n	0.013	
Borde Libre	BL	0.3’0	m
Coeficiente de seguridad	C	0.30	

Con los resultados de la Tabla 10 se realizaron los cálculos para el dimensionamiento de la rejilla.

Tabla 11 – Resultados de Cálculos para diseño de rejilla

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad Máxima antes de Rejilla	Vmáx	0.026	m/seg
Velocidad Media antes de Rejilla	Vm	0.584	m/seg
Ancho del Canal	W	0.760	m
Se asumirá el ancho actual	W	0.410	m
Numero de barras	Nb	14	
Eficiencia	E	89	%
Área Útil	Aur	0.005	m^2
Área Total en rejillas	Ar	0.005	m^2
Velocidad de Paso	Vp	0.041	m/seg
Verificación De La Velocidad Media			
Velocidad Media	V'm	0.225	m/seg

Tabla 12 - Resultados de Cálculos para diseño de rejilla (continuación)

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Pérdida de Carga en Rejas Limpias	Hf	0.010	m
Pérdida de Carga en Rejas	Hfo	0.019	m
Eficiencia/rejas/parcialmente limpias	Eo	67	%
Altura del Canal	Hcanal	0.5	m
Remoción	**Símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Remoción de Solidos Sedimentables	SS	10.20	ml/l

7.9 Trampa o separador de Grasas

La unidad se ubicará después del desarenador para prevenir problemas de obstrucción, adherencia, la no interferencia en los procesos biológicos posteriores y malos olores.

Como parte de los criterios de diseño de la trampa de grasas se tendrá los siguientes:

Tabla 13 – Información Típica para el Diseño de Trampas de Grasas

Parámetros	Valores
Tiempo de retención	15-30 min
Área / Cada litro /S	0.25 m^2
Ancho / Longitud	1:3 - 2:3 - 1.4,1.18
Velocidad ascendente	4 mm/s
Diámetro de entrada	50 mm
Diámetro de salida	150 mm

Fuente: Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Como elementos adicionales se recomiendan considerar los siguientes parámetros de diseño:

- El diámetro de la entrada debe ser como mínimo de 150 mm y el de la salida igual o mayor a 150 cm.
- El extremo final del tubo de entrada debe tener una sumergencia de por lo menos 15 cm. El tubo de salida debe localizarse por lo menos a 15 cm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos de 0.6 m.
- La unidad deberá conservarse cubierto para prevenir olores molestos y para excluir los insectos y roedores.

Para el correcto dimensionamiento de la unidad se utilizarán las siguientes ecuaciones y variables de diseño propuestas por Rodríguez 1995 y la norma colombiana 2000:

7.9.1 Volumen de Trampa de Grasa (V_s):

$$Vs = Qp\ x\ TRH \qquad Ec.17$$

Donde:

Vs: volumen del separador (m^3)

Qp: caudal pico o máximo (m^3/h)

TRH: tiempo de retención hidráulico (h)

7.9.2 Área de Trampa de Grasa (A_s):

$$A_S = \frac{V_S}{H_S} \qquad EC.18$$

Donde:

As: área de separador (m^2)

Vs: volumen del separador (m^3)

Hs: altura del separador (m). (Hs = 1 m);

7.9.3 Longitud de Trampa de Grasa (L_s):

$$L_S = \frac{A_S}{B_S} \qquad EC.19$$

Donde:

L_s: longitud de separador (m)

A_s: área del separador (m^2)

B_s: ancho del separador (m). Bs = 1.21 m.

7.9.4 Volumen de Trampa de Grasa a Qmin (Vm):

$$Vm = Qm\ x\ TRH \qquad Ec.20$$

Donde:

Vm: volumen mínimo (m^3)

Qm: caudal mínimo (m^3/h)

TRH: tiempo de retención hidráulico (h)

7.9.5 Altura para este caudal mínimo (H_m):

$$H_m = \frac{V_S}{A_S} \qquad Ec.21$$

Donde:

H_m: altura de la Tampa de Grasas a caudal mínimo(m)

V_s: volumen de la Tampa de Grasas (m^3)

A_S: área de la Tampa de Grasas (m^2)

7.9.6 Altura del bafle (H_b):

$$Hb = Hs - Hm \qquad Ec.22$$

Donde:

Hb: altura del bafle (m)

Hs: altura de la Tampa de Grasas a caudal máximo (m)

Hm: altura de la Tampa de Grasas a caudal mínimo (m)

7.9.7 Remociones en la Trampa de Grasa:

$$[G\ Y\ A\ ]s = [G\ Y\ A\ ]i - [G\ Y\ A\ ]i\ x\ \%Remoción \qquad Ec.23$$

Donde:

[G Y A]s: concentración de grasas y aceites a la salida(mg/l)

[G Y A]i: concentración de grasas y aceites a la entrada(mg/l).

7.9.8 Remoción de la DQO a través de la grasa:

$$[DQO]s = [DQO]i - ([G\ Y\ A]i - [G\ Y\ A\ ]s)x\ 0.675 \qquad Ec.24$$

Donde:

[DQO]s: concentración de DQO a la salida (mg/l)

[DQO]i: concentración de DQO a la entrada (mg/l).

7.9.9 Remoción en la DBO a través de la grasa:

$$[DBO]s = [DBO]i - ([G\ Y\ A\ ]i - [G\ Y\ A\ ]s)x\ 0.6 \qquad Ec.25$$

Donde:

[DBO_5]s: concentración de DBO_5 a la salida (mg/l)

[DBO_5]i: concentración de DBO_5 a la entrada(mg/l).

7.9.10 Carga de grasa (Qg):

$$Qg: = Qp\ x\ ([G\ Y\ A\ ]i - [\ G\ Y\ A\ ]s)/\ 1000 \qquad Ec.26$$

Donde:

Qg: cantidad de grasa removida (kg/d)

Qp: caudal pico (m^3/h)

7.9.11 Volumen de grasa (Vg):

$$Vg\ =\ Qg\ /\ p \qquad Ec.27$$

Donde:

Vg: volumen de grasa (m^3/d),

Qg: cantidad de grasa (kg/d)

p: densidad de la grasa (kg/m^3), *P* = 750 kg/m3

7.9.12 Altura de la capa de la grasa (H_g):

$$H_g = \frac{V_g}{A_S} \qquad Ec.28$$

Donde:

H_g: altura de la grasa(m/d)

V_g: volumen de grasa (m^3), V = 0.02 m3/d

A_s: área de la Trampa de Grasa (m^2)

7.9.13 Mantenimiento: (M)

$$M = \frac{H_b}{H_g} \qquad Ec.29$$

Donde:

M: mantenimiento (d)

H_b: altura del bafle (m)

H_g: altura de la grasa (m/d)

A continuación el dimensionamiento:

Tabla 14 – Datos para el dimensionamiento de la trampa de grasas

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Tiempo de Retención Hidráulico	TRH	17.50	min
Caudal de Diseño	Qd	0.002	m^3/seg

Tabla 15 - Resultados de Cálculos para diseño de Trampa de Grasas y Aceites

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen	Vs	2.00	m3
Área	As	2.00	m
Longitud	Ls	1.65	m
Ancho	b	1.21	m
Profundidad útil	H	1.00	m
Volumen mínimo	Vm	1.05	m3
Altura mínima	Hm	0.53	m
Altura de bafle	Hb	0.47	m
Carga de grasa	Qg	19.44	Kg/d
Mantenimiento	M	23.50	d
Remoción	**Símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Remoción de Fosforo total	PT	21.70	mg/l
Remoción de Aceites y grasas	G&A	29.90	mg/l

7.10 Desarenador

Se deben de proveer un mínimo de dos unidades. En la práctica, para facilitar la construcción se usan desarenadores de sección trapecial, aproximada a la sección de diseño parabólica. Generalmente los desarenadores para aguas residuales se diseñan para remover todas las partículas de diámetro mayor de 0.20 mm.

Tabla16 - Información típica para el diseño de desarenadores

Parámetro de información	Intervalo	Típico
Tiempo de retención s	45 - 90	60
Velocidad horizontal m/s	0.24 – 0.40	0.30
Valor de sedimentación para la eliminación de:		
Maya 65, m/min[1]	0.95 – 1.25	1.15
Maya 105, m/min[1]	0.60 – 0.90	0.75
Relación largo : ancho	2.5 – 5.1	
Relación ancho : profundidad	1.1 – 5.1	
Carga superficial m^3/m^2d	700 - 1600	
Incremento de longitud por turbulencia en la entrada y salida	2Hm – 0.5L	

Nota: Hm = profundidad máxima del desarenador, L = longitud máxima del desarenador, (1) = si el peso específico de la arena es sustancialmente menor que 2.65, deben usarse velocidades inferiores.
Fuente: Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. INAA 1999.

Los criterios adicionales de diseño tomados para el desarenador son los siguientes:

- Estas unidades son de flujo horizontal, se diseñan para una velocidad horizontal de flujo aproximadamente igual a 30 cm/s. Dicha velocidad permite el transporte de la mayor parte de partículas orgánicas del agua residual a través de la cámara y tiende a resuspender el material orgánico sedimentado, pero permite el asentamiento del material inorgánico pesado.
- En la práctica, los desarenadores para aguas residuales se diseñan para remover todas las partículas de diámetro mayor de 0.20 mm.
- Ancho del desarenador (b) será b = (0.30 – 0.70).
- Bordo libre (Bl) será Bl = 0.30 m.

La metodología de cálculo se expone a continuación:

7.10.1 Altura del agua (H_{agua}):

$$H_{agua} = \frac{Q_d}{b * V} \qquad Ec.30$$

Donde:

Hagua Altura del agua (m)

Qd = caudal de diseño, m^3/s

b = Ancho, m

V = Velocidad, m/s

Longitud (L)

$$L = \frac{(V\ x\ Hagua\ x\ 86400)}{Cs} \qquad Ec.31$$

Donde:

Cs = Carga superficial, $m^3/m^2/d$

7.10.2 Radio Hidráulico (Rh):

$$Rh = A / P = Área\ mojada / Perímetro\ mojado \qquad Ec.32$$

7.10.3 Pendiente longitudinal (S):

$$S = (\frac{n\ x\ V}{Rh\ 2/3})^2 \qquad Ec.33$$

Donde:

S = Pendiente, %

n = coeficiente de Manning

7.10.4 Perdidas en el desarenador (Hf):

$$Hf = S\ x\ L \qquad Ec.34$$

Donde:

Hf = Perdidas en el desarenador en m/m.

7.10.5 Volumen sedimentado (Vsed en litros):

$$Vsed = Qd\ x\ Cretenida\ x\ 86400 \qquad Ec.35$$

Donde

Vsed = Volumen sedimentado en litros.

7.10.6 Volumen requerido de tolva (Vt en m^3):

$$Vt = Vsed\ /1000 \qquad Ec.36$$

Donde:

Vt = Volumen requerido de tolva en m^3.

7.10.7 Altura de Tolva propuesta (Htolva): 0.60 m. Asumido

$$Htolva = 0.60\ m \qquad Ec.37$$

Ancho (b en m): De ya calcado.

Largo (L en m): De ya calculado.

7.10.8 Volumen propuesto de tolva (Vtolva):

$$Vtolva = Htolva\ x\ b\ x\ L \qquad Ec.38$$

Donde:

Vtolva = Volumen propuesto de tolva en m3.

7.10.9 Altura Total del Desarenador (Htotal):

$$Htotal = \sum Hagua + Htolva + BL \qquad Ec.39$$

Donde:

Htotal = Altura Total del Desarenador en m.

Tabla 17 – Datos de entrada para diseño de desarenador

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Carga Superficial	Cs	1200	$m^3/m^2/día$
Caudal de Diseño	Qd	0.002	m^3/seg
Velocidad de flujo	V	0.3	m/seg
Diámetro de partícula	Ø	0.2	mm
Velocidad de Sedimentación	Vs	0.021	m/seg
Número de Desarenadores	No	2	und
Tiempo de Retención de Sedimento en Tolva	t	15	días

Nota: El diámetro de la partícula Ø = 0.2 mm lo obtenemos de la tabla 15 del CEPIS.

Tabla 18 - Sedimentación de partículas

Material	ϕ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$Vs = 1.82\sqrt{dg\left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho}\right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$Vs = 0.22\left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho}g\right)^{2/3}\left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}}\right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$Vs = \frac{1}{18}g\left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu}\right)d^2$ Stokes

Tabla 19 – Resultados de Cálculos para diseño de Desarenador

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho	b	0.16	m
Altura de Agua en el Canal de Llegada	H_{agua}	0.04	m
Borde libre	BL	0.30	m
Largo	L	0.86	m
Radio Hidráulico	Rh	0.0265	m
		0.0889	
Pendiente Longitudinal del Desarenador	S	0.1926	%
Pérdidas en el desarenador	Hf	1.6478	mm
Volumen De Tolva			
Cálculo	**Símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Cantidad de material retenido	Cant. retenida	0.029	lts/m^3
Volumen Sedimentado	V_{sed}	71.472	lts
Volumen requerido de tolva	Vol.Req.Tolva	0.071	m^3
Altura de Tolva propuesta	H_{tolva}	0.60	m
Ancho	b	0.16	m
Largo	L	0.86	m
Volumen propuesto de tolva	V_{tolva}	0.082	m^3
Altura Total del Desarenador	Htotal	0.94	m
Remoción	**Símbolo**	**Valor**	**Unidad**
Remoción de Solidos Suspendidos Totales	SST	222.60	mg/l
Remoción de Solidos Sedimentables	SS	2.04	ml/l
Remoción de Demanda Bioquímica de Oxigeno	DBO_5	183.60	mg/l
Remoción de Demanda Química de Oxigeno	DQO	368.40	mg/l
Remoción de Nitrógeno total	NT	28.82	mg/l
Remoción de Fosforo total	PT	15.19	mg/l
Remoción de Aceites y grasas	GYA	2.99	mg/l

7.11 Tanque Séptico

Se realizo el cálculo para diseño de tanques sépticos de doble cámara, luego se comparo con las dimensiones del tanque de aireación, y asi se justifico técnicamente aprovecarlo.

Tabla 20 - Información típica para el diseño de tanque séptico

Especificación de diseño	Unidad	Parámetro normado
No. de camas	c/u	2
Relación largo/ ancho	m	2 - 4
Profundidad útil mínima (h)	m	1.20
Ancho máximo	m	2(h)
1era cámara	m	2/3Vu
2da cámara	m	1/3Vu
borde inferior	m	2/3h
borde superior	m	NI – 0.30
Rasante del tubo de entrada	m	SLL + 0.075
TRH mínimo	días	0.5
Contribución de lodo fresco	l/p/d	1
Almacenamiento lodo/digerido	año	1

Fuente: Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. INAA 1999.

A continuación, las ecuaciones implementadas para garantizar un diseño optimo:

7.11.1 Caudal de diseño (Qd) (ver Canal de Entrada)

$$Qd = 0.002\ m3/s \qquad Ec.40$$

Donde:

Qd: caudal de diseño (l/s)

7.11.2 Volumen útil para Almacenamiento de Lodos (Vld)

De Balladares 1998, tenemos:

$$Vld = \frac{SSxQdxTRS}{10^8} \qquad Ec.41$$

Donde:

Vld = Volumen útil para Almacenamiento de Lodos en m3

SS = Solidos sedimentables mg/l. Según Balladares 1998 los SS = 0.15 x SST y Tiempo de Residencia de Solidos (TRS) = 180 días.

Qd = Caudal de diseño en m3/s.

TRS = Tiempo de Residencia de Solidos en días.

7.11.3 Volumen útil del tanque (V_{UT}):

$$Vut = Qd\ x\ TRH + Vld \qquad Ec.42$$

Donde:

Vlt = Volumen útil del tanque en m^3

Qd = Caudal de diseño en m^3/s.

TRH = Tiempo de retención hidráulico en d.

Vlt = Volumen útil de lodos del tanque en m^3.

7.11.4 Área del tanque (At):

$$At = Vut/Hut \qquad Ec.43$$

Donde:

At: Área transversal del tanque en m^2

Vut: Volumen útil del tanque en m^3

Hut: Altura útil del tanque en m. 3.5 m.

7.11.5 Volumen real del tanque séptico (Vrt):

$$Vrt = At\ x\ Ht \qquad Ec.44$$

Donde:

Vrt: Volumen real del tanque séptico en m^3.

At: Área transversal del tanque séptico en m^2.

Ht: Altura total del tanque séptico en m. Para calcular el área del tanque hay que definir la altura de la unidad. Ht = 4.1 m.

7.11.6 Longitud del tanque (L_T):

$$Lt = 2\ x\ Bt \qquad Ec.45$$

Donde:

Lt: Longitud del tanque séptico en m. Lt = (2 - 4)Bt norma colombiana. El coeficiente de la relación ancho-largo para estas unidades está en 2 - 4. En nuestro caso

Lt = 2 x Bt.

Bt: ancho del tanque en m.

7.11.7 Volumen útil 1 (V1):

$$V1 = \frac{2}{3} x\ V \qquad Ec.46$$

Donde:

V1: Volumen útil del compartimiento 1 (m^3/d)

V: Volumen útil del tanque (m^3/d)

7.11.8 Volumen útil 2 (V2):

$$V2 = \frac{1}{3} x\ V \qquad Ec.47$$

Donde:

V2: Volumen útil del compartimiento 2 (m^3/d)

V: Volumen útil del tanque (m^3/d)

7.11.9 Longitud 1 (L1):

$$L1 = \frac{2}{3} x\ L \qquad Ec.48$$

Donde:

L1: Longitud del 1er. compartimento (m)

L = Longitud del tanque (m)

7.11.10 Longitud 2 (L2):

$$L2 = \frac{1}{3} x\ L \qquad Ec.49$$

Donde:

L2: Longitud del 2do. compartimento (m)

L = Longitud del tanque (m)

7.11.11 Área total de orificios (At):

$$At = A\ x\ 0.05 \qquad Ec.50$$

Donde:

At = Área total de orificio (m^2)

A = Área útil del tanque (m^2)

7.11.12 Remociones en el tanque séptico

A continuación, se presentan las ecuaciones que se utilizan para el cálculo del porcentaje de remoción de diseño de cada contaminante.

7.11.13 Remoción de sólidos suspendidos totales (SST)

$$[SST]s = [SST]i - [SST]i\ x\ \%\ Remocion \qquad Ec.51$$

Donde:

$[SST]_s$: concentración de sólidos suspendidos totales a la salida (mg/l)

$[SST]_i$: concentración de sólidos suspendidos totales a la entrada(mg/l). Majumder 1960 reporto remoción de hasta 80%. Se usará conservadoramente 70%.

7.11.14 Remoción de los sólidos sediméntales (SS)

$$[SS]s = [SS]i - [SS]i\ x\ \%\ Remocion \qquad Ec.52$$

Donde:

$[S.Susp]_s$: concentración de sólidos sediméntales a la salida(ml/l)

$[S.Susp]_i$: concentración de sólidos sediméntales a la entrada (ml/l). El rango de remoción es 50 – 70%. Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales 1999. Se usará conservadoramente 65%.

7.11.15 Remoción de Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5)s

$$[DBO5]s = [DBO5]i - [DBO5]i\ x\ \%\ Remocion \qquad Ec.53$$

Donde:

$[DBO_5]_s$: concentración de DBO_5 a la salida (mg/l)

$[DBO_5]_i$: concentración de DBO_5 a la entrada (mg/l). El rango de remoción es 30 - 40%. Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales 1999. Se usará 40%.

Remoción de Demanda Química de Oxigeno (DQO)s:

$$[DQO]s = [DQO]i - [DQO]i\ x\ \%\ Remocion \qquad Ec.54$$

Donde:

[DQO]s : concentración de DQO a la salida (mg/l)

[DQO]i: concentración de DQO a la entrada (mg/l). El rango de remoción es 30 - 40%. Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales 1999. Se usará 40%.

Remoción de nitrógeno (N)s:

$$[N]s = [N]i - [N]i\ x\ \%\ Remocion \qquad Ec.55$$

Donde:

$[N]_s$: concentración de nitrógeno a la salida(mg/l)

$[N]_i$: concentración de nitrógeno a la entrada (mg/l). El valor usado en el cálculo corresponde al valor del diseño original a proado 33.9 mg/l. El rango de remoción es 10 - 25%. Se recomienda utilizar 15 %.

Remoción del fósforo (P)s:

$$[P]s = [P]i - [P]i \; x \; \% \; Remocion \qquad Ec.56$$

Donde:

$[P]_s$: concentración de fósforo a la salida(mg/l)

$[P]_i$: concentración de fósforo a la entrada(mg/l). El rango de remoción es 10 - 20%. Se recomienda utilizar 15%.

Remoción de grasas y aceites

$$[GYA]s = [GYA]i - [GYA]i \; x \; \% \; Remocion \qquad Ec.57$$

Donde:

$[GYA]_s$: concentración de grasas y aceites a la salida(mg/l)

$[GYA]_i$: concentración de grasas y aceites a la entrada (mg/l). La remoción esperada es del 90%.

Tabla 21 – Datos de entrada para el diseño de la Fosa Séptica

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de Diseño	Qd	0.002	m^3/seg
Caudal de Diseño	Qd	164304.00	lpd
Solidos suspendidos totales	SST	636	mg/l
Solidos sedimentables	SS	95.40	mg/l
Altura total del tanque	Ht	4.1	m
Altura útil del tanque	Hut	3.5	m
Tiempo de Retención Hidráulico	TRH	0.8	días

Tabla 22 – Resultados de Cálculos para diseño de la Fosa Séptica

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen útil/ Almacenamiento/Lodos	Vld	4.23	m3
Volumen útil del tanque	V_{UT}	135.68	m3
Área del tanque	At	38.76	m2
Volumen real del tanque séptico	Vrt	158.93	m3
Longitud del tanque	L_T	6.23	m
Volumen útil 1	V1	90.45	m3
Volumen útil 2	V2	45.23	m3
Longitud 1	L1	4.15	m
Longitud 2	L2	2.08	m
Área total de orificios	At	1.94	m2

Remociones:	Símbolo	Valor	Unidad
Remoción de Solidos Suspendidos Totales	SST	66.78	mg/l
Remoción de Solidos Sedimentables	SS	0.71	ml/l
Remoción de Demanda Bioquímica de Oxigeno	DBO_5	110.16	mg/l
Remoción de Demanda Química de Oxigeno	DQO	221.04	mg/l
Remoción de Nitrógeno total	NT	17.29	mg/l
Remoción de Fosforo total	PT	9.11	mg/l
Remoción de Aceites y grasas	GYA	0.30	mg/l

7.12 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Debido a las condiciones climatológicas de nuestro país, el filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA), ha demostrado gran eficiencia de remoción ubicado después de la fosa séptica, esto es, a bajos costos debidos a la operación y mantenimiento. Esta es la razón de su selección.

A continuación, las ecuaciones implementadas para garantizar un diseño optimo:

7.12.1 Eficiencia del filtro (E_f)

Según Young 1983, el TRH es el parámetro más importante que afecta el desempeño y eficiencia de remoción de DQO en el proceso. Trabajando la unidad al 80% de su eficiencia se obtienen valores confiables de remoción de DQO. Young

y Yang en 1989, demostraron que la eficiencia en la remoción de DQO es inversamente proporcional al TRH de acuerdo con la ecuación:

$$Ef = 100(1 - Sk/TRH^{m}) \qquad Ec.58$$

Donde:

Ef: Eficiencia del filtro en %. 80% asumido.

TRHf: Tiempo de retención hidráulico en horas

Sk: Constante empírica que describe el desempeño de la unidad. Según Young 1989, Sk = 1.

m: Constante empírica que describe el desempeño de la unidad. Según Young 1989, m = 0.55.

7.12.2 Tiempo de retención hidráulico en el filtro (TRHf):

$$TRHf = \left(\frac{-Sk}{\frac{Ef}{100} - 1}\right)^{\frac{1}{m}} \qquad Ec.59$$

Donde:

TRHf: Tiempo de retención hidráulico en horas

Ef: Eficiencia del filtro en %. 80% asumido.

Sk: Constante empírica que describe el desempeño de la unidad. Según Young 1989, Sk = 1.

m: Constante empírica que describe el desempeño de la unidad. Según Young 1989, m = 0.55.

7.12.3 Volumen del líquido en el filtro (Vf):

$$Vf = Qd\ x\ THRf/24 \qquad Ec.60$$

Donde:

Vf : Volumen del líquido en el filtro en m3.

Qd: Caudal de diseño en m3/d.

7.12.4 Carga orgánica volumétrica (COV):

$$COV = Qd\ x\ DQO\ /\ Vf \qquad Ec.61$$

Donde:

COV: Carga orgánica volumétrica (kg DQO / m3 d)

Qd: Caudal de diseño en m3/d.

DQO: Concentración de DQO en kg/m3.

Vf : Volumen del líquido en el filtro en m3.

7.12.5 Volumen del medio poroso (Vmp):

$$Vmp = 13.5\%\ x\ Vf \qquad Ec.62$$

Donde:

Vmp: Volumen del medio poroso en m3.

Vf : Volumen del líquido en el filtro en m3.

7.12.6 Volumen útil del filtro (Vuf):

$$Vuf = Vf + Vmp \qquad Ec.63$$

Donde:

Vuf: Volumen útil del filtro en m3.

Vf : Volumen del líquido en el filtro en m^3.

Vmp: Volumen del medio poroso en m3.

7.12.7 Área superficial del filtro (Asf):

$$Asf = \frac{Vuf}{Huf} \qquad Ec.64$$

Donde:

Asf : Área superficial del filtro en m2.

Vuf: Volumen útil del filtro en m3.

Huf: Altura útil del filtro en m.

7.12.8 Volumen real del filtro (Vrf):

$$Vrf = Asf\ x\ Htf \qquad Ec.65$$

Donde:

Vrf: Volumen real del filtro en m3

Asf : Área superficial del filtro en m2.

Htf: Altura total del filtro en m.

7.12.9 Largo y Ancho del filtro (Lf y Af)

El largo y el ancho de la unidad existente es L = 5.0 m y A = 2.90 m.

$$Lf = 5.60\ m. \qquad Ec.66$$

$$Af = 2.90\ m. \qquad Ec.67$$

Donde:

Lf: Largo del filtro en m.

Af: Ancho del filtro en m.

7.12.10 Número de puntos de alimentación (N_p):

$$Np = Af/Dn \qquad Ec.68$$

Donde:

N_p : número de puntos de alimentación al filtro (unidad)

A_f : área conformada por la parte del fondo falso del filtro (m^2).

D_n : área de cobertura de cada punto (0.15 x 0.15 = 0.022 m2) recomendado por Guía Técnica.

7.12.11 Caudal a través de cada punto (Q_p):

$$Qp = Qd/Np \qquad Ec.69$$

Donde:

Q_p : caudal por puntos (m^3/h)

Q_d : caudal de diseño o caudal pico (m^3/h).

N_p : número de puntos de distribución (puntos)

Tabla 23 – Datos de entrada para el diseño de FAFA

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de Diseño	Qd	0.002	m^3/seg
Caudal de Diseño	Qd	164304.00	lpd
Demanda Química de Oxigeno	DQO	221.04	mg/l
Demanda Química de Oxigeno	DQO	0.221	kg/m3
Eficiencia de la Unidad	Ef	80	%
Altura total del filtro	Htf	4.10	m
Constante empírica	m	0.55	adim.
Constante empírica	Sk	1.00	adim.
Largo del filtro	Lf	5.60	m
Ancho del filtro	Af	2.90	m

Tabla 24– Resultados de Cálculos para diseño de FAFA

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Tiempo de Retención Hidráulico	TRH	18.66	horas
Volumen del líquido en el filtro	Vf	127.73	m3
Carga orgánica volumétrica	COV	0.28	kgDQO/m3 d
Volumen del medio poroso	Vmp	17.24	m3
Volumen útil del filtro	Vuf	144.97	m3
Área superficial del filtro	Asf	16.24	m2
Volumen real del filtro	Vrf	66.58	m3

Remociones:	Símbolo	Valor	Unidad
Remoción de Solidos Suspendidos Totales	SST	20.03	mg/l
Remoción de Solidos Sedimentables	SS	0.21	ml/l
Remoción de Demanda Bioquímica de Oxigeno	DBO_5	66.10	mg/l
Remoción de Demanda Química de Oxigeno	DQO	132.62	mg/l
Remoción de Nitrógeno total	NT	14.70	mg/l
Remoción de Fosforo total	PT	7.75	mg/l
Remoción de Aceites y grasas	GYA	0.30	mg/l

Todos los parámetros cumplen lo estipulado en el decreto 21-2017 Arto. 26.

7.13 Tanque de desinfección

En el caso de los coliformes señalados en el Arto 24 del decreto 21-2017, la planta existente cuenta con un Tanque de Desinfección con una longitud L = 4.84 m, ancho A = 1.21 m y una profundidad máxima en sus pantallas H = 1.52 m. Esto equivale a un volumen total de 8.90 m3 con una dosificación de cloro de 1.5 – 2.5 para obtener 0.5 mg/l de cloro residual a la salida. La Guía Técnica establece un Tiempo de Contacto TC = 30 minutos. El volumen requerido para satisfacer a la norma con un Qd = 0.13 m3/min y TC = 30 minutos es V = 3.60 m3. < 8.90 m3.

7.14 Lechos o Eras de secado

Los lechos de secado se utilizan normalmente para la deshidratación de lodos digeridos. A continuación, se expone la información típica para el diseño de lechos de secado a partir de la Guía Técnica de INAA 1999.

- Los lechos de secado deben ubicarse a una distancia mínima de 100 m de edificios y urbanizaciones.
- La tubería de conducción del lodo hacia los lechos debe diseñarse para una velocidad no menor de 0.75 m/s.
- La capa de arena sobre la grava tendrá un espesor entre 0.30 y 0.46 m. Debe ser durable, limpia y libre de materiales extraños. Deberá tener un coeficiente de uniformidad entre 3.5 y 4.0 y un tamaño efectivo entre 0.3 y 0.75 mm.

- La capa de grava deberá tener un espesor entre 0.20 y 0.46 m, debe ser redondeada con un diámetro entre 3 y 25 mm.
- El diámetro de las tuberías de drenajes deberá ser de 10 a 15 cm, separadas entre sí 2 a 3 m con una pendiente no menor de 1%.
- Los muros laterales deberán tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena. Los muros pueden fabricarse de losetas de concreto engarzadas en ranuras de postes del mismo material.
- La superficie total se divide en lechos individuales de 6 m de ancho y longitudes no mayor de 60 m, o de dimensiones tales, que el ciclo de carga normal permita el llenado de uno o dos de ellos.
- Área requerida: 0.09 a 0.15 m2 /hab y Carga de sólidos seco: 134 kg/m2.año.

Tabla 25 – Datos de entrada para el diseño de lechos

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Densidad de los Lodos	ρ_{lodo}	1.04	Kg/lt
Solidos Contenidos en los Lodos	% Solidos	10	%
Altura del Lecho	Hl	0.4	m
Solidos suspendidos	SS	242	mg/l
Tiempo de retención de lodos	Trc	30	días

Tabla 26– Resultados de Cálculos para diseño de lechos de secado

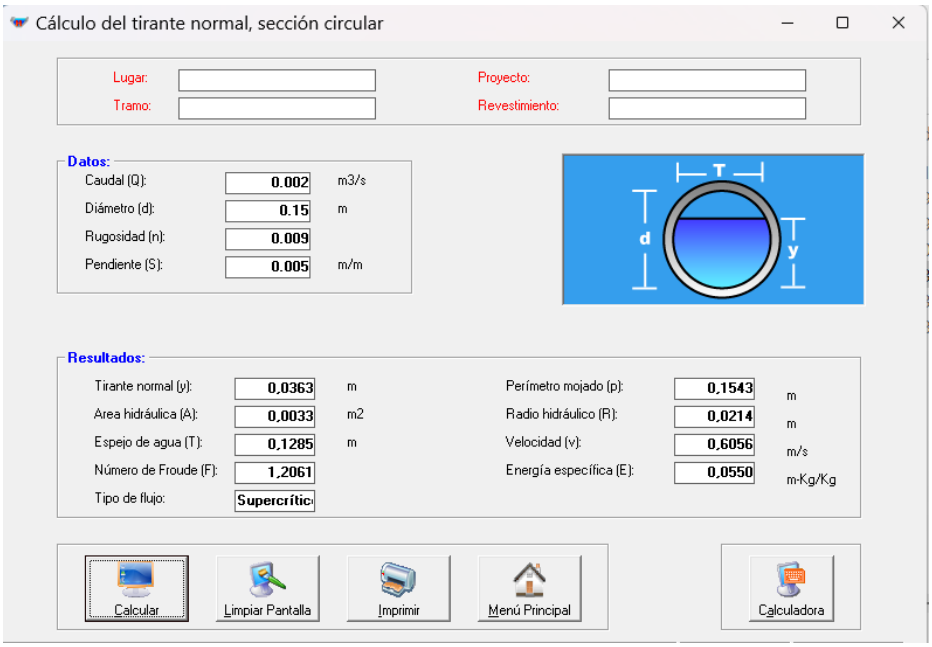
Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Carga/Sólidos que Ingresa al Sediment.	C	32.486	Kg de SS/día
Masa/Sólidos que Conforman los Sólidos	Msd	10.558	Kg de SS/día
Volumen Diario de Lodos Digeridos	Vld	101.520	lts/día
Volumen/Lodos a Extraerse del Tanque	$V_{extracción}$	3.046	m^3
Área del Lecho de Secado	Als	7.6	m^2
Ancho del Lecho de Secado	Bls	6.0	m
Largo del Lecho de Secado	Lls	1.3	m

7.15 Interconexiones entre unidades

Las conexiones entre unidades se realizarán con tubería PVC SDR 41 de diámetro en 6” o 0.15 m., y el cual es el mínimo aceptado por la norma para estos trabajos.

Para revisar el comportamiento del fluido se utilizó el programa Hcanales, a continuación, el cálculo con un Qd = 0.002 m3/s, D = 0.15 m, R = 0.009 y P = 0.005 mm:

Figura 6 - Calculo hidráulicos de Interconexiones



A como se puede observar la velocidad del flujo V = 0.6 m/s, es mayor a 0.4 m/s lo cual no permitirá sedimentación de partículas en el invert del tubo. Por otro lado, aunque el flujo es supercrítico, los conductos son cerrados y cortos, y el caudal presenta un tirante y = 0.036 m., lo cual reduce la posibilidad del resalto, aunque se diera el flujo permanecerá dentro del conducto cerrado.

7.16 Pozo de Infiltración (Descarga)

Proponiendo pozos de infiltración con dimensiones de D = 3.80 m., H = 8.30 m tendríamos un volumen unitario de 94.04 m3 (Vol = Pi x r^2 x H = 3.14 x 1.90^2 m x 8.30 m = 94.04 m3). Tendrán una profundidad útil de 8.30 m. y considerando que

Qd = 172.80 m3/d., tendríamos que con 2 pozos cubriríamos la descarga de aguas residuales de 1 día.

Los resultados de las pruebas de infiltración realizadas por Lamsa, se exponen a continuación:

Tabla 27– Resultados de Coeficiente de Permeabilidad k(cm/s)

Sondeo	Coeficiente de Permeabilidad k(cm/s)
1	3.10×10^{-4}
2	5.0×10^{-4}

Por otra parte, el área de infiltración será igual al área lateral más el área de la base, entonces:

Área lateral = 2 x 3.14 x 1.90 m x 8.30 m = 99.03 m2

Área base = (3.14 x 3.80^2 m) /4 = 11.33 m2

Área total = 110.36 m2

Por cada pozo de infiltración se almacenarán 94.04 m3. Estos serán infiltrados gradualmente en un área de 110.36 m2.

Así pues, la capacidad de infiltración para los pozos, será Qd = V x A = k x A = 0.0000031 m/s x 110.36 m2 = 0.00034 m3/s., o 29.37 m3/d.

Por tanto, se necesitarán 2 pozos de infiltración por día.

7.17 Presupuesto

A continuación, es expone el estimado de costos.

Concepto	U.M	Cantidad	Costo Unit. (C$)	Total (C$)
Suministro y construcción de desarenador doble L = 3 m, A = 0.45 m y H = 0.94 m de piedra cantera. Techado. Con respiradero en tubería metálica en 50 mm,	ml	3	21.113.00	63339.00
Suministro y construcción de pantalla de losetas con postes. L = 7.20 m, H = 2.55 m . Techado. Con respiradero en tubería metálica en 50 mm,	m2	19	7789.00	147991.00
Suministro y construcción de fondo falso de losetas con postes. L = 7.20 m, H = 2.55 m . Techado. Con respiradero en tubería metálica en 50 mm,	m2	12	7789.00	93468.00
Filtro granular entre 4 – 7 mm.	m3	22	1400.00	29,635.20
TOTAL C$				334433.20

El costo total de inversión es C$ 334,433.20 (córdobas), lo que representa por habitante un costo servido de C$ 445.91 y un costo por m3 tratado de C$ 4.82. La reutilización de las unidades existentes que superaron la prueba de estanquiedad permitió reducir los costos de construcción en aproximadamente un 40% en comparación con un sistema completamente nuevo, demostrando la viabilidad económica del proyecto para la urbanización El Prado.

VIII CONCLUSIONES

- A partir del análisis comparativo entre la caracterización realizada en El Prado (2006) y los valores estipulados en la Guía Técnica INAA, se determinó que la concentración de nitrógeno total (33.9 mg/L) es significativamente inferior al valor normado (234 mg/L), por lo que se adoptó el dato local para el diseño, evitando el sobredimensionamiento de los procesos de remoción de nutrientes. La relación DQO/DBO_5 obtenida fue de 2.01, lo que confirma una biodegradabilidad moderada del agua residual y justifica técnicamente la selección de un tren de tratamiento basado en procesos biológicos anaerobios de bajo costo operativo.

- La totalidad de las unidades evaluadas superó satisfactoriamente la prueba de estanqueidad realizada según la norma UNE-EN 1610, evidenciando ausencia total de filtraciones y confirmando la integridad estructural de las infraestructuras existentes. Este resultado permitió incorporar al nuevo diseño el tanque de aireación (reconvertido a fosa séptica de dos cámaras), el sedimentador secundario (adaptado como FAFA) y el tanque de desinfección, generando un ahorro significativo en los costos de inversión del proyecto.

- Se dimensionaron las siguientes unidades: canal de entrada (H = 0.50 m., y A = 0.41 m.), rejillas manuales (L = 1.59 m., A = 0.41 m., y H = 0.50 m.) trampa de grasas (V = 2.51 m^3), fosa séptica de dos cámaras (Vútil = 181.44 m^3), filtro anaerobio de flujo ascendente (Vútil = 27.12 m^3), tanque de desinfección (V = 8.90 m^3) y lechos o eras de secado (A = 36.98 m^2). El diseño aprovecha la topografía de la estructura actual y el terreno (pendientes del 2-3%) para operar por gravedad, minimizando el consumo energético y los costos de operación.

- El costo total de inversión del sistema propuesto asciende a C$ 334,433.20 (córdobas), lo que representa un costo por habitante servido de C$ 445.91 y un costo por metro cúbico tratado de C$ 4.82. La reutilización de las unidades

existentes que superaron la prueba de estanquiedad permitió reducir los costos de construcción en aproximadamente un 40% en comparación con un sistema completamente nuevo, demostrando la viabilidad económica del proyecto para la urbanización El Prado.

IX RECOMENDACIONES

- Realizar capacitaciones al personal de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales, esto para garantizar el correcto funcionamiento de cada una de las unidades diseñas y que se pueda degradar la carga contaminante a los valores estipulados en el Decreto 21 – 2017.

- Conformar un comité de saneamiento integrado por miembros de la directiva de la urbanización y operarios capacitados, responsable de la administración financiera, la supervisión operativa y la coordinación con las instituciones regulatorias (MARENA, ENACAL, ANA).

- Implementar un programa de manejo de lodos que contemple su secado en los lechos diseñados y su posterior estabilización para posible aprovechamiento agrícola, previa verificación de su calidad microbiológica y fisicoquímica.

- Una vez construido y puesto en marcha el sistema, se recomienda realizar un programa de monitoreo intensivo durante los primeros seis meses de operación para verificar las eficiencias de remoción reales, calibrar los parámetros de diseño y documentar lecciones aprendidas que puedan ser transferidas a proyectos similares en la región.

X Bibliografía

Asamblea Nacional de Nicaragua. (1996). *Ley N.º 217: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales*. La Gaceta, Diario Oficial.

Asamblea Nacional de Nicaragua. (2011). *Decreto N.º 45-2011: Reglamento de la Ley N.º 217*. La Gaceta, Diario Oficial.

Balladares, L. (1998). *Apuntes de tratamiento de aguas residuales*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Gómez, C., & Picado, A. (2023). *Evaluación de sistemas anaerobios compactos para tratamiento de aguas residuales domésticas en urbanizaciones del Pacífico nicaragüense*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados [INAA]. (1999). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*.

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados [INAA]. (2019). *NTON 09-007-19: Normas Técnicas para el Diseño de Abastecimiento de Agua Potable*.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015: Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso*.

Majumder, S. K. (1960). *Sedimentation theory and practice*. Journal of the Institution of Engineers.

Metcalf & Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3ª ed., Vol. 1). McGraw-Hill.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales [MARENA]. (2002). *NTON 05-014-02: Normas para el tratamiento y vertido de aguas residuales domésticas*.

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales [MARENA]. (2017). *Decreto N.º 21-2017: Reglamento de Vertidos de Aguas Residuales*. La Gaceta, Diario Oficial.

Organización Panamericana de la Salud. (2022). *Guías para el diseño de sistemas de tratamiento descentralizados en América Central*.

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.

Rodríguez, J. A. (1995). *Diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CEPIS].

Universidad Nacional de Ingeniería. (2021). *Proyecto de rehabilitación de planta de tratamiento para residencial Las Colinas, Managua*. Facultad de Tecnología de la Construcción.

U.S. Environmental Protection Agency [EPA]. (2012). *Guidelines for water reuse* (EPA/600/R-12/618).

Veenstra, S., & Van Duijil, L. (1995). *Low-cost wastewater treatment systems*. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.

Young, J. C. (1983). *Anaerobic filter for wastewater treatment*. Journal of the Water Pollution Control Federation, 55(5), 485-494.

Young, J. C., & Yang, B. S. (1989). *Design considerations for full-scale anaerobic filters*. Journal of the Water Pollution Control Federation, 61(9), 1576-1584.

XI ANEXO

Anexo A. Manual de operación y mantenimiento

Actividad	Materiales	Frecuencia
Canal de entrada con rejas		
Limpiar y lavar	Cepillos de alambre, agua limpia, pala, rastrillo.	Diario (cuantas veces sea necesario)
Cualquier residuo sólido de gran tamaño, como piezas de madera, plástico, etc., deberá ser eliminado mediante el uso de una malla similar a la que se emplea para limpiar piscinas.	Medios para colectar y transportar el material residual hasta el sitio de disposición final. Malla.	Diario (cuantas veces sea necesario)
Limpiar Sólidos Acumulados en el fondo del Canal	Palas y carretillas para transporte de arena	Mensual
Eliminar Nata Flotante Acumulada	Pascón y Carretilla.	Semanal
Desarenador		
Medición periódica del lecho de arena acumulada.	Regla graduada.	Diario (cuantas veces sea necesario)
Aislamiento del desarenador en el momento en que la arena ocupe 2/3 del volumen.	Regla graduada.	Mensual (cuantas veces sea necesario)
Remoción de arena.	Palas y carretillas para transporte de arena.	Quincenal
Estimación de la cantidad de arena removida para los registros en las fichas de operación.	Medio para medición de la arena, como un cubo calibrado.	Semanal
Transporte del material removido hacia el sitio de disposición.	Carretilla.	Quincenal
Lavado de las paredes y de los raspadores con chorro de agua.	Agua a presión, pala, cepillos.	Diario
Lavado del desarenador para ser puesto nuevamente en operación.	Agua a presión, pala, cepillos.	Anual
Análisis de una muestra de la arena removida para determinación de sólidos volátiles. Adopción de medidas correctivas para las muestras que presenten alto contenido de éstos.	Aparatos para toma de muestras. Servicios de laboratorio.	Mensual
Verificación de la cantidad de arena en las unidades de tratamiento subsecuentes.	Regla graduada.	Diario (cuantas veces sea necesario)
Eliminar Nata Flotante Acumulada	Pascón y Carretilla.	Semanal

Fosa Séptica		
Eliminar las grasas, natas y sólidos flotantes, de la superficie si se llegaran a producir.	Canasta metálica o plástica al extremo de una vara.	Diario
Raspar los lodos de las paredes, para quitar los sólidos que se hayan adherido y que pueden descomponerse.	Cepillo de alambre.	Semanal
Determinar el nivel de los lodos. La descarga de lodos debe hacerse antes de que su nivel llegue a 45 cm.	Regla graduada en cms.	Mensual
Extracción de Lodos de Cámara de Digestión. Es mejor descargar pequeñas cantidades con frecuencia, que grandes cantidades en períodos largos. Los lodos deben descargarse a una velocidad moderada y regular, para que no se forme un canal a través de los lodos y que no deje descargar lodos digeridos.	Motobomba, Tubería PVC, Manguera Flexible.	Mensual
Después de cada descarga de lodos, las líneas de descarga deben escurrirse y llenarse con agua o con aguas servidas, para impedir que los lodos se endurezcan y obstruyan las tuberías.	Fuente de abastecimiento de agua.	Mensual
Controlar la nata en la cámara de natas, rompiéndola por medio de chorros de agua a presión, manteniéndola húmeda con aguas negras provenientes del compartimiento de sedimentación y quitándola cuando su espesor llegue a unos 60 cm.	Manguera, fuente de agua a presión.	Cada 15 Días
Prevención de la formación de espumas. Debe hacerse todo lo posible para impedir la formación de espumas, debido a que a veces es muy difícil corregir esta situación una vez que se presenta. La formación de espuma va generalmente asociada con una condición de acidez en los lodos y puede prevenirse en tales casos, o corregirse, mediante un tratamiento con cal, para contrarrestarla.	Cal.	Periódicamente

Lecho de Secado de Lodos		
Se recomienda agregar un kilogramo de alumbre por cada 800 a 2,500 litros de lodo para aumentar el desprendimiento de gases.	Alumbre.	Mensual
La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre otros ya secos o parcialmente secos.	Herramientas de limpieza, tales como rastrillos, palas. Medios de carga y transporte de lodos hasta su disposición final.	Mensual
Una vez descargados los lodos del tanque séptico, las tuberías para lodos deben drenarse bien y hacer circular agua por ellos. Esto no sólo evita el taponamiento de las tuberías, sino también el desarrollo de grandes presiones originadas por los gases emanados de los lodos que permanezcan dentro. Por este motivo, debe evitarse encender fósforos, cigarrillos o cualquier fuego, cuando se abran las válvulas de lodo.	Fuente de agua a presión.	Mensual
Evitar malos Olores	Cal.	Diario
Canales y Cajas de Recepción		
Control de Niveles de Agua		Cada Hora
Limpieza de paredes y Fondo	Cepillos de alambre, agua limpia, pala, rastrillo.	Diario
FAFA		
Limpiar el lecho filtrante	Palas, Rastrillo, Carretilla, Camion de Carga. Operar las valvulas.	1 vez al año, o cuando hay problemas de colmatacion.
Mantener el Nivel de Agua unos 60 cms por encima del lecho filtrante.	Manguera Flexile.	Cada Hora
Análisis de una muestra del agua efluente. Adopción de medidas correctivas para las muestras que presenten alto contenido de contaminantes.	Aparatos para toma de muestras. Servicios de laboratorio.	1 vez al mes durante 6 meses.

Anexo B. Tablas de remociones utilizadas en los cálculos

Rendimiento de eliminación en sedimentadores (%)

Fuente	DBO_5	DQO	SST	S,Sed	PT	NT
Metcalf & Eddy,1996	30-40	30-40	50-65	70-80	-	-
Ramalho 1996	30-50	30-50	40-60	-	-	-
Veenstra & Van Duijil, 1995	30-40	30-40	40-60	-	15-30	5-15

Eficiencia de remoción determinada por sistema de tratamiento.

Sistema de tratamiento	Eficiencia de eliminación en %			
	DBO_5	Nitrógeno	Fósforo	Coliformes fecales
Tratamiento preliminar	0-5	0	0	0
Tratamiento primario	35-40	10-25	10-20	30-40
Estanque facultativo	75-85	30-50	20-60	60-99
Lagunas aireadas facultativa	75-90	30-50	20-60	60-96
Estanque anaerobio - Estanque facultativo	75-90	30-50	20-60	60.99.9
Lodos activados convencional	85-93	30-40	30-45	60-90
Aireación prolongada	93-98	15-30	10-20	65-90
Sequencing batch reactor	85-95	30-40	30-45	60-90
Trickling filter de baja velocidad	85-93	30-40	30-45	60-90
Trickling filter de alta velocidad	80-90	30-40	30-45	60-90
UASB	60-80	10-25	10-20	60-90
Tanque séptico-filtro anaerobio	70-90	10-25	10-20	60-90

Eficiencias Típicas de Remoción

Eficiencias Típicas de Remoción							
	Eficiencias en la remoción de constituyentes, porcentajes						
Unidades de Tratamiento	**DBO_5**	**DQO**	**SS**	**P**	**N org**	**NH_3-N**	**Patógenos**
Rejillas	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-10	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos Act. convencional	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores:							
Alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	Desp.
Supertasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	-
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	-	-	Desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	-	-	Desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	-	-	Desp.
Lagunas de oxidación							
Lagunas/ anaerobias	50-70	-	20-60	-	-	-	90-99.99
Lagunas/ aireadas	80-95	-	85-95	-	-	-	90-99.99
Lagunas/ facultativas	80-90	-	63-75	30	-	-	90-99.99
Lagunas/maduración	60-80	-	85-95	-	-	-	90-99.99
Rayo ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100

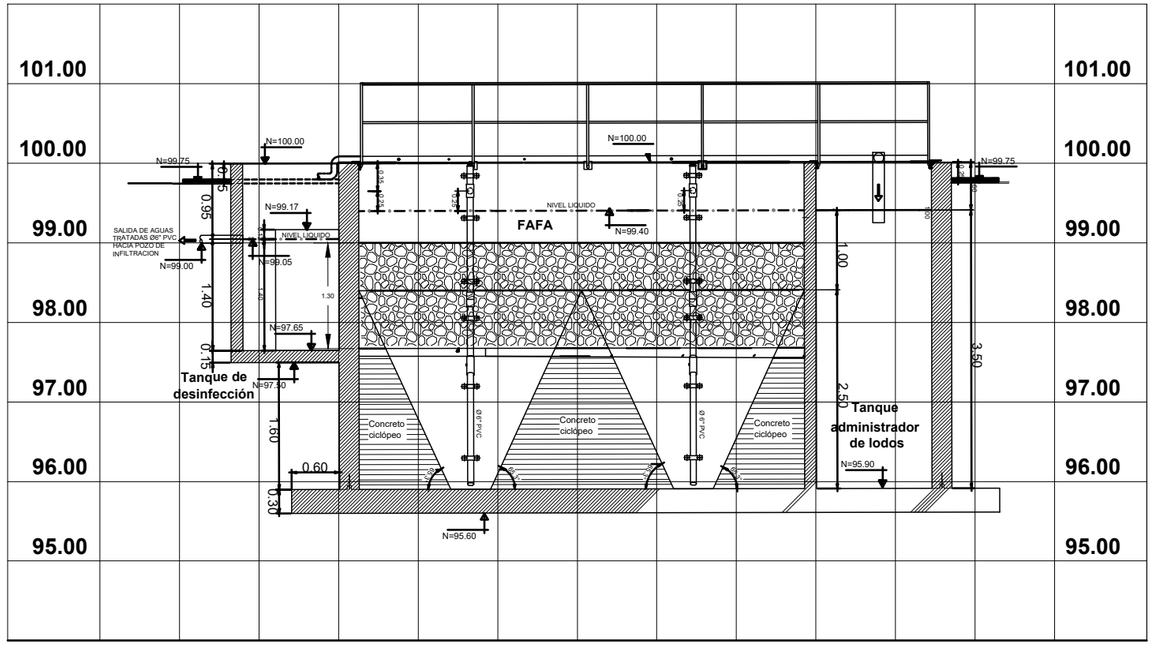
Fuente: Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Anexo C. planos de sección hidráulica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (U.N.I.)

Diseño del sistema de tratamiento
de aguas residuales para la Urbanizacion
El Prado - km 15.5 carretera a Masaya 2026.

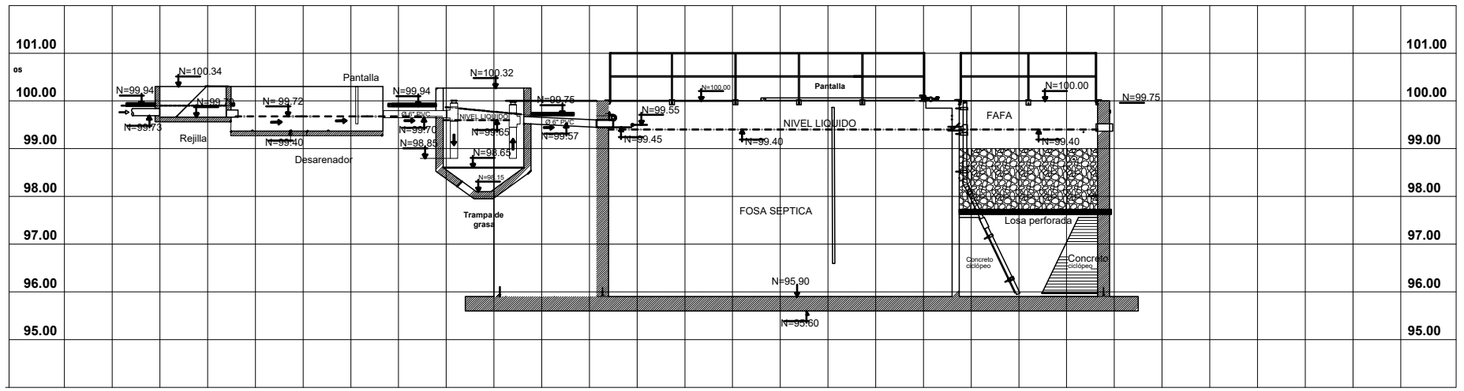
	ÍNDICE DE PLANOS
HOJA	DESCRIPCIÓN
01	Caratula
02	Planta de conjunto del sistema de tratamiento de aguas residuales
03	Detalles: trampa de grasa, rejilla, desarenador y tanque de desinfección
04	Plano de secciones - procesos unitarios
05	Perfiles Hidráulicos.
06	Plano de Pozo de Infiltracioin.
07	
08	
09	



PERFIL-2

Escala 1:40

NOTA: El nivel 100.00 de los perfiles es asumido



PERFIL HIDRAULICO

Escala 1:40

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (U.N.I.)

Proyecto

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Caudal 172.80 m³/día

Propietario

URBANIZACIÓN "EL PRADO"
Nicaragua

Contenido

Perfiles Hidraúlicos

Dibujo y Diseño

Br. Gustavo Montalvan

N°	Fecha de revisión
01	20 de Abril 2026
02	
03	
04	
05	
06	
07	

Escala global

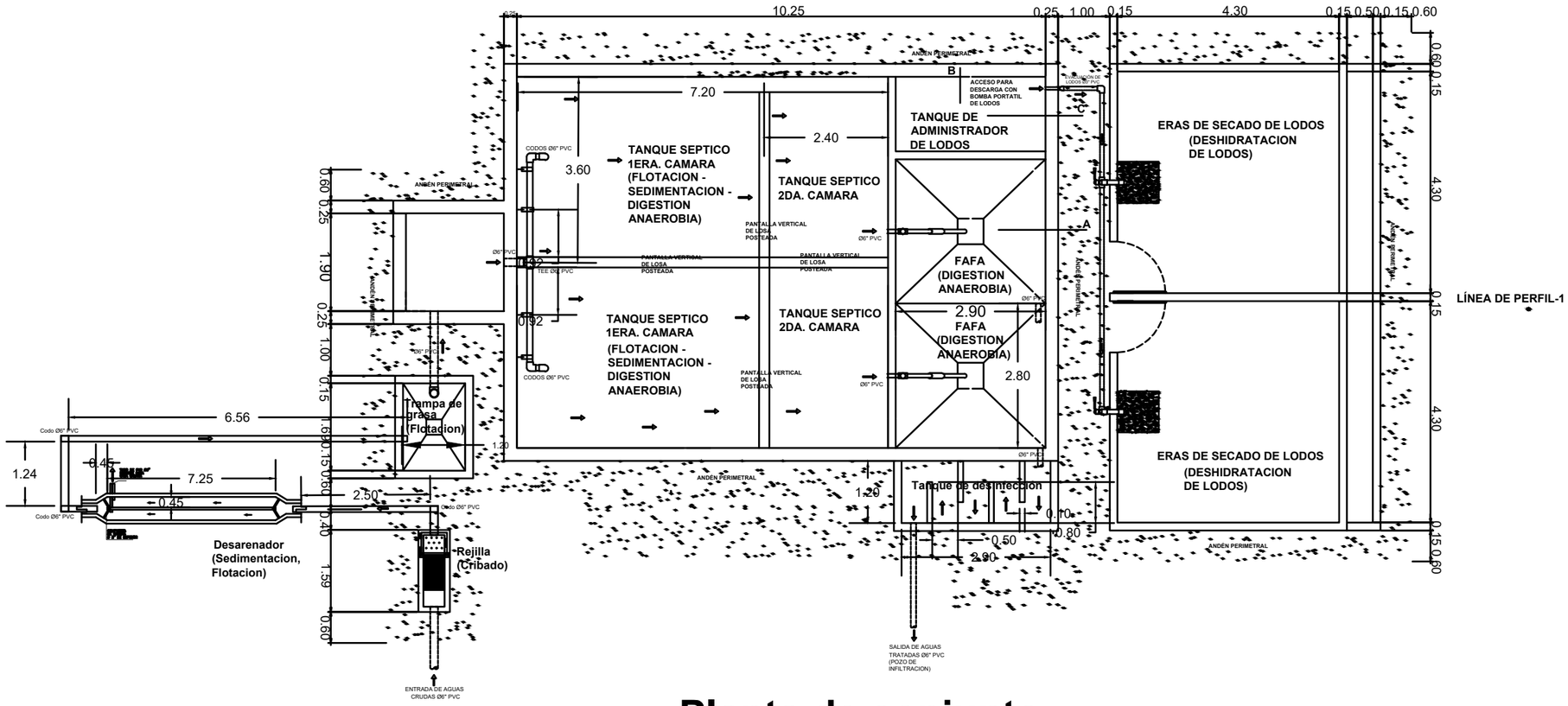
1 / 40

Pais

Nicaragua

Pais

Nicaragua



Planta de conjunto Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Escala 1:40

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (U.N.I.)

Proyecto

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Caudal 172.80 m³/día

Propietario

URBANIZACIÓN "EL PRADO"
Nicaragua

Contenido

PLANO DE CONJUNTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Dibujo y Diseño

Br. Gustavo Montalvan

N°	Fecha de revisión
01	20 de Abril 2026
02	
03	
04	
05	
06	
07	

Escala global

1 / 40

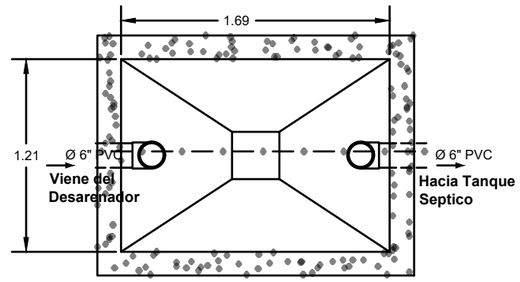
Pais

Nicaragua

Pais

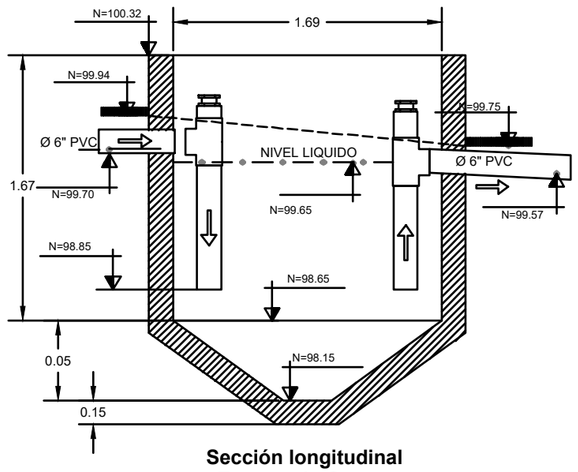
Nicaragua

02 / 06



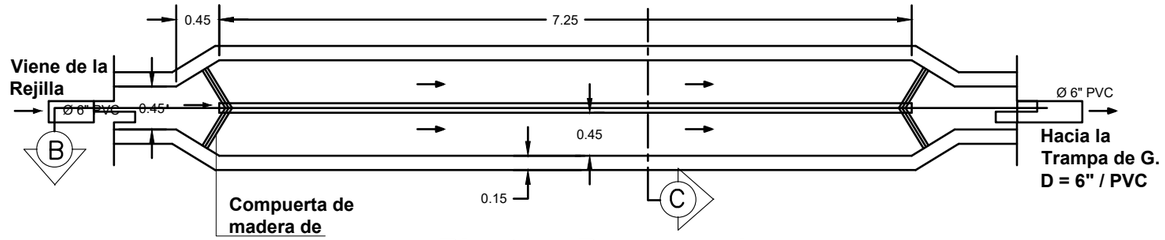
Planta Trampa de Grasas

Esc. 1 : 15



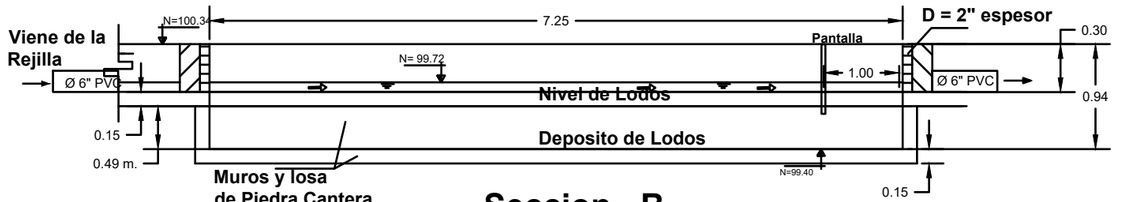
Sección longitudinal
- Trampa de Grasa

Esc. 1 : 15



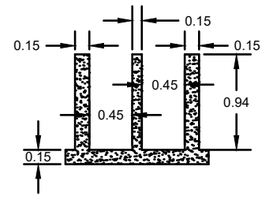
Planta - Desarenador

Esc. 1 : 50



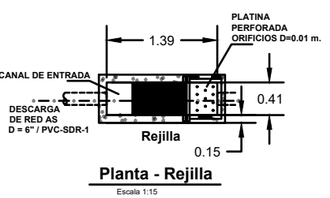
Seccion - B

Esc. 1 : 50



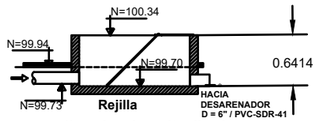
Seccion - C

Esc. 1 : 50



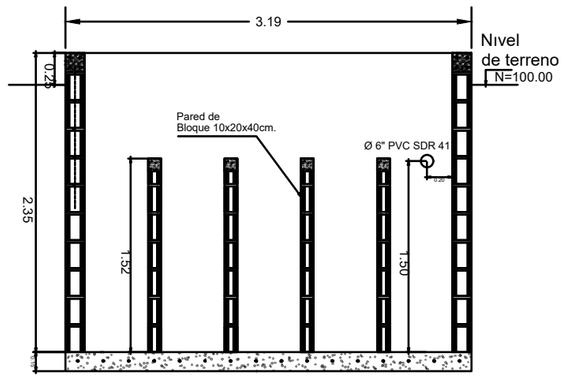
Planta - Rejilla

Escala 1:15



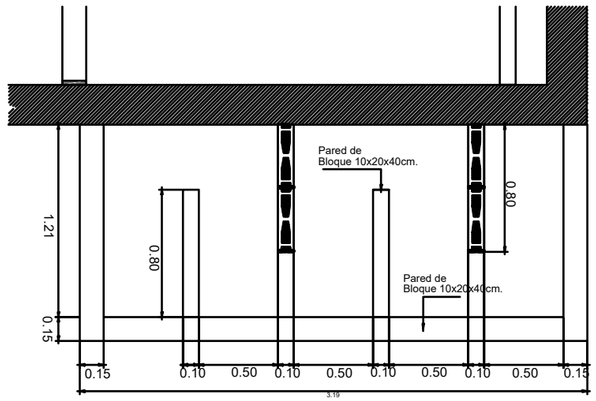
Sección longitudinal

Esc. 1 : 15



Sección longitudinal

Esc. 1 : 15



Planta - Tanque de Desinfeccion

Esc. 1 : 15

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERIA (U.N.I.)

Proyecto

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Caudal 172.80 m³/día

Propietario

URBANIZACIÓN "EL PRADO"
Nicaragua

Contenido

DETALLES CONSTRUCTIVOS

- PLANTA DE GRASA
- REJILLA
- DESARENADOR
- TANQUE DE DESINFECCION

Dibujo y Diseño

Br. Gustavo Montalvan

N°	Fecha de revisión
01	20 de Abril 2026
02	
03	
04	
05	
06	
07	

Escala global

INDICADA

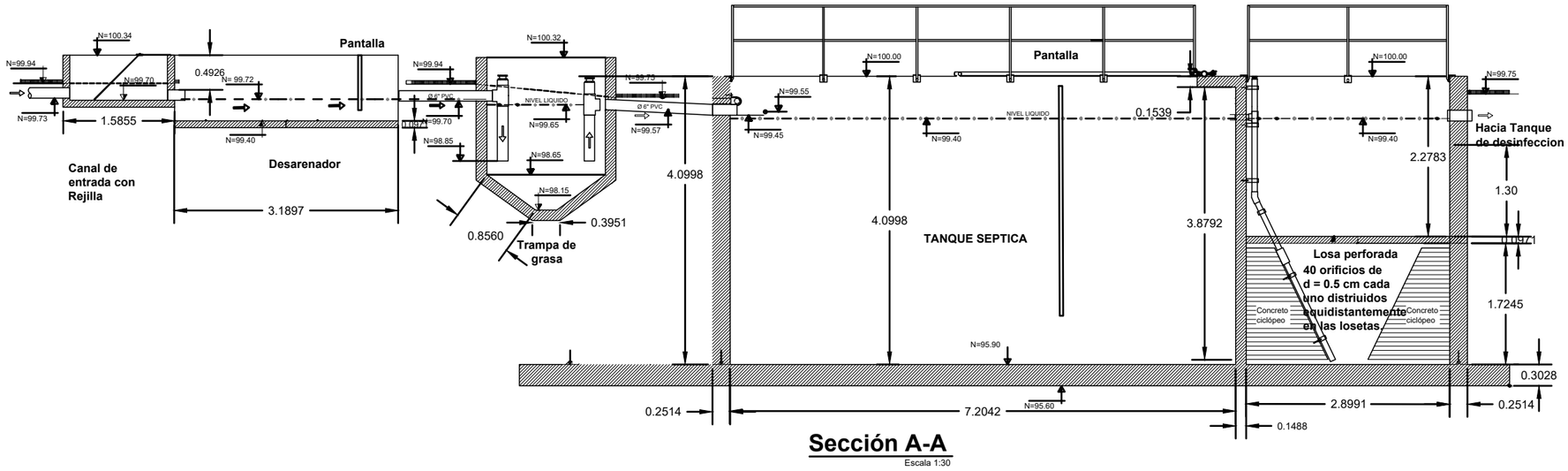
Pais

Nicaragua

Pais

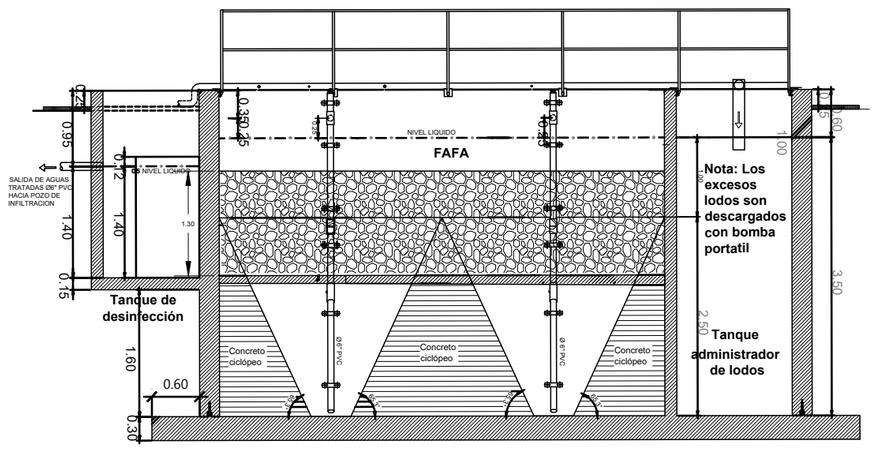
Nicaragua

03
06



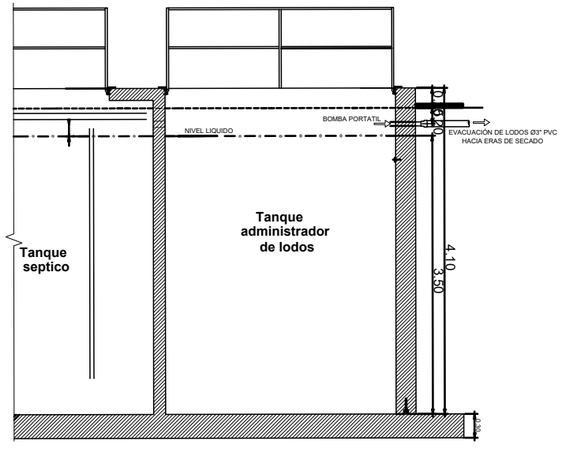
Sección A-A

Escala 1:30



Sección B-B

Escala 1:30



Sección C-C

Escala 1:30

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (U.N.I.)

Proyecto

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Caudal 172.80 m³/día

Propietario

URBANIZACIÓN "EL PRADO"
Nicaragua

Contenido

SECCIONES
PROCESOS UNITARIOS

Dibujo y Diseño

Br. Gustavo Montalvan

N°	Fecha de revisión
01	20 de Abril 2026
02	
03	
04	
05	
06	
07	

Escala global

1 / 40

Pais

Nicaragua

Pais

Nicaragua

04 / 06

NOTAS GENERALES Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

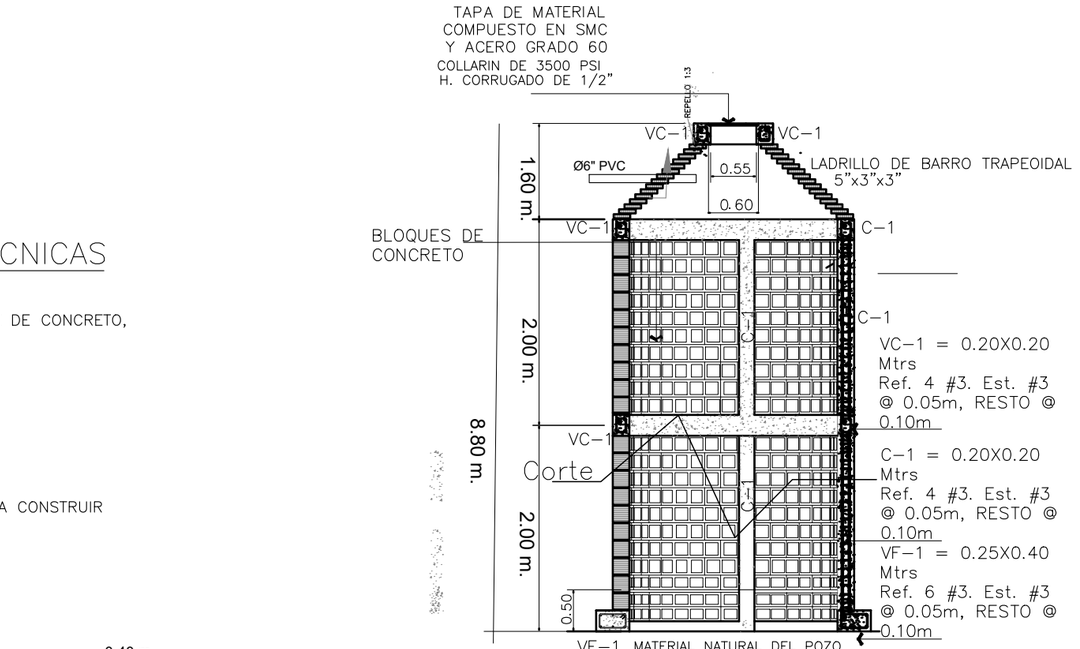
1–EL POZO DE INFILTRACION SERA CONSTRUIDO CON BLOQUE DE CONCRETO, BASE DE CONCRETO, ARO Y TAPA DE CONCRETO.

2–LA TAPA Y EL ARO DEL POZO DE INFILTRACION SERAN DE CONCRETO.

3–EL MORTERO A USAR SERA EN PROPORCION 1:3 (CEMENTO : ARENA).

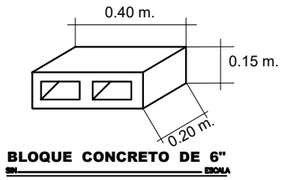
4–EL REPELLO SERA DE UN CENTIMETRO (1cm.) DE ESPESOR EN ACABADO FINO.

5–SE USARA CONCRETO CON RESISTENCIA MINIMA DE 3500 PSI A LOS 28 DIAS PARA CONSTRUIR VIGAS, LOSA DE FONDO DEL TRAGANTE Y POZO DE INFILTRACION.



POZO DE INFILTRACION A–A

Sin Escala



BLOQUE CONCRETO DE 6"

SIN ESCALA

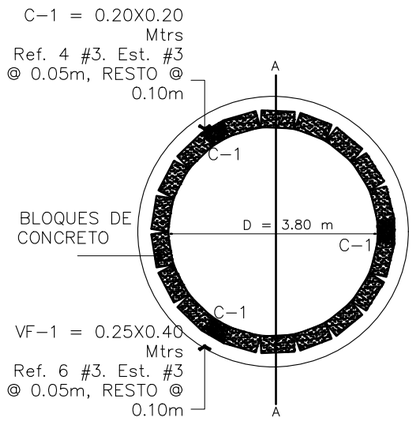
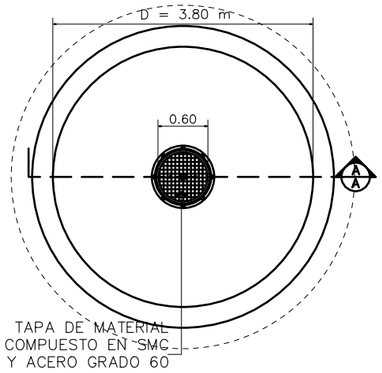
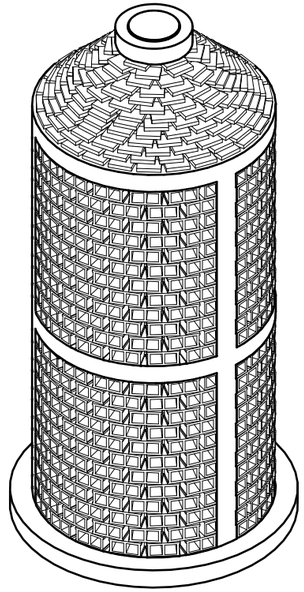


TABLA:	D (m)	H(m)
POZO DE INFILTRACION	3.80	8.30



PLANTA POZO DE INFILTRACION

Sin Escala



ISOMETRICO DE POZO DE INFILTRACION H=8.30/D=3.80

Sin Escala

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (U.N.I.)

Proyecto

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Caudal 172.80 m³/día

Propietario

URBANIZACIÓN "EL PRADO"
Nicaragua

Contenido

PLANO DE POZO DE INFILTRACION

Dibujo y Diseño

Br. Gustavo Montalvan

N°	Fecha de revisión
01	20 de Abril 2026
02	
03	
04	
05	
06	
07	

Escala global

INDICADA

País

Nicaragua

País

Nicaragua

06/06