



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG, CANTÓN QUERO,
PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

AUTOR: Ricardo Alexander Criollo Espín

TUTOR: Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solorzano

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental y, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. Ricardo Alexander Criollo Espín, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804347621, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solorzano

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Ricardo Alexander Criollo Espín con C.I: 1804347621 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



Ricardo Alexander Criollo Espín

Autor

C.I: 1804347621

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2021



Ricardo Alexander Criollo Espín

Autor

C.I: 1804347621

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Ricardo Alexander Criollo Espín de la Facultad de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firma:

Ing. Mg. Lenin Gabriel Silva Tipantasig

Miembro Calificador

Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano

Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, quienes han sido un ejemplo y un gran apoyo para mi vida, para superarme y seguir adelante en cumplir esta meta.

A mis hermanos que me han acompañado y me han ayudado en este largo camino con su apoyo incondicional incluso en mis peores momentos.

A toda mi familia por su amor y aliento incondicional.

Ricardo Criollo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado esta oportunidad de llegar a ser un profesional y ver su gracia en mi vida.

A mis padres por su apoyo, amor y cariño por haberme inculcado de valores que me han servido en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos por apoyarme en cumplir este sueño y estar ahí cuando los necesitaba.

A mi novia Ana quien me ha dado el impulso de seguir adelante y no rendirme pese a los golpes de la vida y acompañarme en mis peores momentos.

A mi tutor de tesis Ing. Fidel Castro, quien con su sabiduría y paciencia me ayudo a culminar este estudio.

A todos los docentes de esta prestigiosa facultad por compartir sus conocimientos y experiencias tanto profesionales como personales.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros y amigos por compartir esta jornada estudiantil junto a mí.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1

1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	3
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	5
1.1.3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales	5
1.1.3.2 Aguas residuales.....	6
1.1.3.3 Aguas afluentes	6
1.1.3.4 Características de las aguas residuales	6
1.1.3.5 Tipos de aguas residuales	8
1.1.3.5.1 Doméstica o urbana	8
1.1.3.5.2 Pecuarias	8
1.1.3.5.3 De origen agrícola.....	9

1.1.3.5.4	Industrial	9
1.1.3.5.5	Escorrentía	10
1.1.3.6	Funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales	10
1.1.3.6.1	Tratamiento primario	10
1.1.3.6.2	Tratamiento secundario.....	10
1.1.3.6.3	Tratamiento terciario.....	11
1.1.3.6.4	Desinfección	11
1.1.3.6.5	Tratamiento de lodos	11
1.1.3.7	Operaciones unitarias para el tratamiento de aguas residuales	12
1.1.3.7.1	Operaciones físicas unitarias	12
1.1.3.7.2	Procesos químicos unitarios.....	13
1.1.3.7.3	Procesos biológicos unitarios.....	14
1.1.3.8	Agua residual tratada.....	15
1.1.3.9	Procesos de una planta de tratamiento de agua residual.....	19
1.1.3.9.1	Cribado.....	19
1.1.3.9.2	Desarenador	19
1.1.3.9.3	Tanque séptico	20
1.1.3.9.4	Filtro biológico FAFA	20
1.1.3.9.5	Lecho de secado de lodos	20
1.1.3.9.6	Desinfección	20
1.1.3.9.7	Porcentaje de remoción teórica por procesos	21
1.1.3.10	Parámetros típicos para la evaluación de la calidad del agua residual ...	21
1.1.3.10.1	Sólidos Suspendidos Totales.....	21
1.1.3.10.2	Demanda Química de Oxígeno	22
1.1.3.10.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	22
1.1.3.10.4	Contenido de nutrientes (Nitrógeno N y Fósforo P).....	22
1.1.3.10.5	Potencial Hidrógeno (pH).....	22
1.1.4	Hipótesis.....	23
1.1.4.1	Hipótesis de trabajo	23
1.1.4.2	Hipótesis nula	23

1.2	Objetivos.....	23
1.2.1	Objetivo general.....	23
1.2.2	Objetivo general.....	23
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA		25
2.1	Materiales y equipos.....	25
2.2	Metodología.....	26
2.2.1	Plan de recolección de datos	27
2.2.1.1	FASE 1: Levantamiento de información.....	27
2.2.1.2	FASE 2: Levantamiento de campo.....	30
2.2.1.2.1	Medición de caudales.....	30
2.2.1.2.2	Toma de muestra de agua residual.....	35
2.2.1.3	FASE 3: Investigación de laboratorio	38
2.2.1.4	FASE 4: Análisis y comprobación de funcionamiento de la PTAR	38
2.2.1.4.1	Desarenador	39
2.2.1.4.2	Tanque séptico	39
2.2.1.4.3	Filtro anaerobio de flujo ascendente y descendente	40
2.2.1.4.4	Lecho de secado de lodos	40
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
3.1	Análisis y discusión de los resultados	41
3.1.1	Análisis de muestra de agua residual	41
3.1.2	Análisis comparativo de resultados con el TULSMA 2015.....	42
3.2	Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag.....	44
3.2.1	Diagnóstico técnico.....	44
3.2.2	Procesos unitarios del sistema de tratamiento de la planta actual.....	45
3.2.3	Dimensiones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	45

3.2.3.1	Desarenador.....	45
3.2.3.2	Tanque séptico.....	47
3.2.3.3	Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	49
3.2.3.4	Filtro descendente.....	50
3.2.3.5	Lecho de secado de lodos.....	51
3.2.4	Diagnóstico de funcionamiento teórico actual de la PTAR.....	53
3.2.4.1	Determinación del caudal de diseño.....	54
3.2.4.2	Diagnóstico de funcionamiento del desarenador.....	55
3.2.4.3	Diagnóstico de funcionamiento del tanque séptico.....	62
3.2.4.4	Diagnóstico de funcionamiento del filtro anaerobio ascendente.....	65
3.2.4.5	Diagnóstico de funcionamiento del filtro descendente.....	68
3.2.4.6	Diagnóstico de funcionamiento del lecho de secado de lodos.....	69
3.3	Verificación de hipótesis.....	72
3.4	Propuesta de mejora.....	72
3.4.1	Diseño de nuevos procesos de tratamiento en la PTAR.....	73
3.4.1.1	Determinación de la población futura.....	73
3.4.1.2	Determinación del caudal de diseño sanitario.....	77
3.4.1.3	Diseño de la trampa de grasas propuesta.....	79
3.4.2	Rediseño de los procesos de tratamiento sub dimensionados en la PTAR.....	81
3.4.2.1	Diseño del tanque séptico propuesto.....	81
3.4.3	Diagnóstico de los procesos de tratamiento óptimos de acuerdo al periodo de diseño futuro.....	86
3.4.3.1	Diagnóstico de funcionamiento del desarenador en base al periodo de diseño.....	87
3.4.3.2	Diagnóstico de funcionamiento del filtro anaerobio ascendente en base al periodo de diseño.....	90
3.4.3.3	Diagnóstico de funcionamiento del filtro descendente.....	93
3.4.3.4	Diagnóstico de funcionamiento del lecho de secado de lodos.....	94
3.4.4	Comparación del estado actual de la PTAR con la propuesta.....	96
3.5	Plan de operación y mantenimiento.....	98
3.5.1	Plan de operación y mantenimiento para las rejillas.....	98

3.5.2	Plan de operación y mantenimiento para la trampa de grasas	98
3.5.3	Plan de operación y mantenimiento para el desarenador	99
3.5.4	Plan de operación y mantenimiento para el tanque séptico	100
3.5.5	Plan de operación y mantenimiento para los filtros percoladores.....	100
3.5.6	Plan de operación y mantenimiento para el lecho de secado de lodos.....	101
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		103
4.1	Conclusiones.....	103
4.2	Recomendaciones.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....		106
ANEXOS.....		110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aguas residuales domesticas	8
Figura 2 Agua residual pecuaria	8
Figura 3 Agua residual agrícola	9
Figura 4 Agua residual industrial.....	9
Figura 5 Agua residual de esorrentía.....	10
Figura 6 División Política del Cantón Quero	28
Figura 7 Comunidad de Puñachizag	28
Figura 8 PTAR Comunidad de Puñachizag, Cantón Quero.....	30
Figura 9 Comportamiento de los caudales de ingreso	33
Figura 10 Comportamiento de los caudales de salida.....	34
Figura 11 Toma de caudales de agua residual de ingreso de la planta de Puñachizag	35
Figura 12 Toma de caudales de agua tratada de salida de la planta de Puñachizag	35
Figura 13 Toma de muestras de agua residual de ingreso a la planta de Puñachizag	37
Figura 14 Toma de muestras de agua tratada de salida de la planta de Puñachizag	37
Figura 15 Personalización de las muestras de agua de entrada y salida de la PTAR	37
Figura 16 Desarenador de la PTAR	39
Figura 17 Tanque séptico de la PTAR	39
Figura 18 Filtro anaerobio de flujo ascendente y descendente de la PTAR	40
Figura 19 Lecho o patio de secado de lodos de la PTAR	40
Figura 20 Esquema de remoción real de contaminantes de la muestra.....	44
Figura 21 Tren de tratamiento de la PTAR actual	45
Figura 22 Vista superior del desarenador.....	46
Figura 23 Vista de corte lateral del desarenador	46
Figura 24 Detalle de la rejilla del desarenador.....	47
Figura 25 Vista superior del tanque séptico	48
Figura 26 Vista de corte lateral del tanque séptico	48
Figura 27 Vista superior del filtro biológico.....	49
Figura 28 Vista de corte frontal del filtro biológico	50
Figura 29 Vista en planta del filtro descendente.....	51
Figura 30 Vista de corte del filtro descendente.....	51
Figura 31 Vista superior del lecho o patio de secado de lodos	52
Figura 32 Vista de corte lateral del lecho o patio de secado de lodos	53
Figura 33 Curva de tratamiento - Método de ábaco de Hazen.....	60
Figura 34 Nuevo tren de tratamiento de la propuesta para la PTAR	73
Figura 35 Línea de tendencia con el método aritmético	74
Figura 36 Línea de tendencia con el método geométrico	75
Figura 37 Línea de tendencia con el método exponencial	76

Figura 38 PTAR de la comunidad de Puñachizag	111
Figura 39 Obtención de caudales del agua tratada de la PTAR.....	111
Figura 40 Colocación de la muestra de arena en el horno para determinar la densidad relativa de la misma	112
Figura 41 Eliminación del aire contenido en la muestra para determinar la densidad relativa.....	112
Figura 42 Pesado de la muestra con agua para la determinación de la densidad relativa	113
Figura 43 Preparación de la muestra en los tamices para la determinación de su granulometría	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia.	6
Tabla 2 continuación de la Tabla 1	7
Tabla 3 Pasos en el proceso de tratamiento de aguas residuales.	12
Tabla 4 Operaciones físicas unitarias.	13
Tabla 5 Procesos químicos unitarios.	14
Tabla 6 Procesos biológicos unitarios.	15
Tabla 7 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	16
Tabla 8 Continuación de la Tabla 7	17
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	17
Tabla 10 Continuación de la Tabla 9	18
Tabla 11 Continuación de la Tabla 9	19
Tabla 12 Rendimiento de eliminación de contaminantes según las unidades de tratamiento.	21
Tabla 13 Materiales.	25
Tabla 14 Equipos de seguridad	25
Tabla 15 Datos de la PTAR de la comunidad de Puñachizag	29
Tabla 16 Planificación de la toma de caudales de la PTAR	32
Tabla 17 Resumen de la toma de caudales de ingreso a la PTAR en lt/s	32
Tabla 18 Resumen de la toma de caudales de salida de la PTAR en lt/s	33
Tabla 19 Planificación de la toma de muestra de agua residual de la PTAR.	36
Tabla 20 Diferentes métodos utilizados en la caracterización del agua residual	38
Tabla 21 Resultados de análisis de agua de ingreso a la PTAR.	41
Tabla 22 Resultados de análisis de agua de salida a la PTAR	42
Tabla 23 Análisis comparativo de resultados de la muestra TULSMA 2015.	42
Tabla 24 Continuación de la Tabla 23	43
Tabla 25 Remoción real de agentes contaminantes de la muestra	43
Tabla 26 Dimensiones actuales del desarenador.	45
Tabla 27 Dimensiones actuales del tanque séptico	47
Tabla 28 Dimensiones actuales del filtro biológico.	49
Tabla 29 Dimensiones actuales del filtro descendente	50
Tabla 30 Dimensiones actuales del lecho de secado de lodos	52
Tabla 31 Determinación del caudal de diseño	54
Tabla 32 Cálculo de la densidad relativa de la arena del agua residual	56
Tabla 33 Análisis granulométrico de la muestra de arena del desarenador	57
Tabla 34 Rendimiento esperado.	59
Tabla 35 Tiempo de retención de acuerdo a la contribución de agua residual	63

Tabla 36 Tasa de acumulación de acuerdo al intervalo de limpieza.....	64
Tabla 37 Tiempo de digestión de los lodos.....	70
Tabla 38 Población censal del cantón Quero	74
Tabla 39 Tasa de crecimiento poblacional - método aritmético	74
Tabla 40 Tasa de crecimiento poblacional - método geométrico	75
Tabla 41 Tasa de crecimiento poblacional - método exponencial	75
Tabla 42 Tasas de crecimiento poblacional	76
Tabla 43 Criterios de diseño para una trampa de grasas.....	79
Tabla 44 Dimensiones de la trampa de grasas de la propuesta	81
Tabla 45 Tiempo de retención de acuerdo a la contribución de agua residual	82
Tabla 46 Tasa de acumulación de acuerdo al intervalo de limpieza.....	83
Tabla 47 Valores de profundidad útil.....	84
Tabla 48 Dimensiones del tanque séptico de la propuesta.....	86
Tabla 49 Comparación estado actual de la PTAR con la propuesta	97
Tabla 50 Actividades de mantenimiento para las rejillas.....	98
Tabla 51 Actividades de mantenimiento para la trampa de grasas	99
Tabla 52 Actividades de mantenimiento para el desarenador.....	99
Tabla 53 Actividades de mantenimiento para el tanque séptico	100
Tabla 54 Actividades de mantenimiento para los filtros percoladores	101
Tabla 55 Actividades de mantenimiento del lecho de secado de lodos	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Número de muestra	54
Ecuación 2 Valor promedio	54
Ecuación 3 Desviación estándar.....	54
Ecuación 4 Caudal máximo horario actual	54
Ecuación 5 Caudal de diseño actual.....	55
Ecuación 6 Viscosidad cinemática del agua	57
Ecuación 7 Velocidad de sedimentación.....	58
Ecuación 8 Número de Reynolds.....	58
Ecuación 9 Coeficiente de arrastre.....	58
Ecuación 10 Velocidad de sedimentación corregida	58
Ecuación 11 Área teórica del desarenador	60
Ecuación 12 Área actual del desarenador	61
Ecuación 13 Velocidad horizontal	61
Ecuación 14 Contribución de aguas residuales por contribuyente.....	63
Ecuación 15 Contribución diaria de agua residual.....	63
Ecuación 16 Volumen útil del tanque séptico.....	64
Ecuación 17 Volumen actual de la fosa séptica.....	64
Ecuación 18 Volumen del medio filtrante	66
Ecuación 19 Volumen total.....	66
Ecuación 20 Carga orgánica volumétrica del medio filtrante	66
Ecuación 21 Carga orgánica volumétrica	66
Ecuación 22 Tiempo de residencia hidráulica	67
Ecuación 23 Eficiencia esperada.....	67
Ecuación 24 Carga hidráulica superficial	67
Ecuación 25 Área teórica superficial del filtro descendente	68
Ecuación 26 Área real superficial del filtro descendente.....	69
Ecuación 27 Velocidad de filtración real	69
Ecuación 28 Carga de sólidos que ingresan al sedimentador	70
Ecuación 29 Masa de sólidos que conforman los lodos.....	71
Ecuación 30 Volumen diario de lodos digeridos	71
Ecuación 31 Volumen de lodos a extraerse	71
Ecuación 32 Área teórica del lecho de secado de lodos.....	71
Ecuación 33 Área real del lecho de secado de lodos	72
Ecuación 34 Población futura	77
Ecuación 35 Caudal medio diario futuro	77
Ecuación 36 Caudal medio diario sanitario futuro.....	78
Ecuación 37 Caudal máximo diario futuro	78

Ecuación 38 Caudal de diseño futuro.....	78
Ecuación 39 Volumen de la trampa de grasas propuesta.....	79
Ecuación 40 Área de la trampa de grasas propuesta.....	79
Ecuación 41 Largo de la trampa de grasas propuesta.....	80
Ecuación 42 Ancho de la trampa de grasas propuesta.....	80
Ecuación 43 Altura de la trampa de grasas propuesta.....	80
Ecuación 44 Altura total de la trampa de grasas propuesta.....	81
Ecuación 45 Contribución de aguas residuales por contribuyente.....	82
Ecuación 46 Contribución diaria de agua residual.....	82
Ecuación 47 Volumen útil del tanque séptico propuesto.....	83
Ecuación 48 Área superficial del tanque séptico propuesto.....	84
Ecuación 49 Área de cada fosa del tanque séptico propuesto.....	84
Ecuación 50 Ancho útil de cada fosa del tanque séptico propuesto.....	85
Ecuación 51 Largo útil del tanque séptico propuesto.....	85
Ecuación 52 Primer compartimiento del tanque.....	85
Ecuación 53 Segundo compartimiento del tanque.....	86
Ecuación 54 Altura total del tanque séptico propuesto.....	86

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es determinar si la planta se encuentra funcionando de forma óptima.

La evaluación de la PTAR de la comunidad empezó con un levantamiento de información y una investigación de campo para la toma de dimensiones, caudales de ingreso y así determinar el caudal de diseño a utilizar. También se realizó la toma de muestras de agua residual, mismas que fueron analizadas por un laboratorio acreditado y cuyos resultados fueron comparados con los parámetros límites que establece la normativa TULSMA 2015 para descargas de aguas residuales en cuerpos de agua dulce. Donde se comprobó que el parámetro aceites y grasas no cumple con dicha norma, lo cual indicó que la PTAR no está funcionando de forma adecuada. Finalmente se realizó un diagnóstico de cada uno de los procesos de tratamiento actual, en donde se encontró que algunas de sus estructuras como es el caso del tanque séptico no cumple con los criterios y recomendaciones que establecen los manuales de diseño.

Por las razones antes nombradas se propone incorporar un nuevo proceso de tratamiento (trampa de grasas) para tratar el alto valor de dicho parámetro, realizar un rediseño de las estructuras que actualmente no cumplen con las normas, y finalmente incorporar un plan de operación y mantenimiento para asegurar el correcto funcionamiento de la PTAR a través del tiempo.

Palabras clave: PTAR, Trampa de grasas, Aguas residuales, TULSMA 2015, Tanque séptico

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine if the plant is operating optimally.

The evaluation of the community WWTP began with the gathering of information, a field investigation which was used to take dimensions, inflow flows to determine the design flow to be used. Wastewater samples were also taken, which were analyzed by an accredited laboratory and whose results were compared with the limit parameters established by the TULSMA 2015 regulation for wastewater discharges into freshwater bodies, where it was found that the parameter oils and fats does not comply with the standards, which showed that the WWTP is not working properly. Finally, a diagnosis was made of each of the current treatment processes, where it was found that some of its structures, such as the septic tank, do not meet the criteria and recommendations established in the design manuals.

For the reasons mentioned before, it is proposed to incorporate a new treatment process (fat trap) to treat the high value of that parameter. Also, to carry out a structure redesigns that now, currently do not comply with the standards, and finally to incorporate an operation and maintenance plan to ensure the correct operation of the WWTP through the time.

Keywords: WWTP, Fat trap, Wastewater, TULSMA 2015, Septic Tank

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

El agua potable, el saneamiento y la electricidad son servicios de alta relevancia dentro de la salud humana, los mismos que contribuyen a: la reducción de la pobreza, una mejor alimentación, reducción de enfermedades y al crecimiento de la economía del país. Por lo tanto, el reconocer la importancia de estos servicios, es garantizar el acceso libre, de manera equitativa, eficiente y sostenible al mismo, a beneficio de la población mundial. [1]

Es por ello que el agua al ser el líquido vital para la vida humana, debe ser potabilizada para ser bebida sin riesgo alguno, sin embargo, una de las causas principales de la contaminación del agua potable, es la gestión deficiente de los residuos humanos (aguas servidas) y los sistemas de saneamiento inadecuados, lo que genera una baja calidad de agua potable que afecta negativamente a la salud humana pues trae consigo diversas enfermedades. [2]

Una de las actividades humanas que llegan a consumir la mayor parte de agua y que a su vez genera gran parte de desechos residuales, es la actividad industrial, esta actividad produce desechos industriales que, al no ser tratados de manera correcta, estos pueden generar daños al planeta y a la vida misma. Por ende, en varios países desarrollados se ha trabajado mucho en el tratamiento y reutilización de este tipo de aguas, contrario a los países que se encuentran en vías de desarrollo, dónde el tratamiento para este tipo de aguas ya mencionadas se considera deficiente, este problema es agravado sobre todo por las pequeñas y medianas empresas (PYMES) que cuentan con escasos recursos económicos,

para lograr brindar un excelente tratamiento y depuración a los desechos residuales e industriales. [2]

Es por ello que, el objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento) del Programa de las Naciones Unidas explica que, en el año 2015, alrededor de un 39% de la población mundial, es decir 2,9 mil millones de personas contaban con saneamiento seguro, y 2.3 mil millones de personas carecían del mismo e incluso carecían de un saneamiento básico, lo cual produce que el 80% de aguas residuales sean vertidas en vías fluviales sin ningún tipo de tratamiento. [3]

De acuerdo a las estimaciones realizadas por parte de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en América latina y el Caribe, tan solo el 49% de la población posee redes de sistema de alcantarillado, mientras que el 31% utiliza sistemas de saneamiento “in situ” es decir utilizan diferentes tipos de infraestructuras las cuales no están conectadas a las redes de alcantarillado público. Los servicios de agua potable y saneamiento son más altos en los sectores urbanos que en los rurales, siendo el sector rural el más expuesto a poseer servicios deficientes, además se comprobó que la mayor parte de personas que no poseen un sistema de agua potable y saneamiento son personas cuyos ingresos son bajos. [4]

Por este motivo, para lograr garantizar el acceso a este derecho, como lo es el agua potable, segura y asequible, es necesario invertir en una infraestructura adecuada, instalaciones sanitarias de calidad y sobre todo fomentar buenas prácticas de higiene, garantizando de esta manera el bienestar de la población. [3]

Según el instituto nacional de estadísticas y censos del Ecuador (INEC) referente al agua, saneamiento e higiene (ASH), plantea que tan solo el 55.5% de la población del país cumple con los indicadores de ASH de forma óptima, es decir que cuentan con los tres servicios necesarios para asegurar la salud de una población. [5] Esto significa que el otro 44.5% al no poseer un saneamiento adecuado realiza sus descargas de forma directa hacia pozos sépticos, canales, cuerpos de agua o quebradas, causando graves daños a los ecosistemas con una reducción de oxígeno que puede llegar a niveles tan bajos donde los

organismos no puedan resistir ante las nuevas condiciones, y si a esto se suman otros componentes que se pueden generar, como nitrógeno amoniacal, cloruros o sulfatos, la situación es aún más crítica para la biodiversidad del país. [6]

Según la INEC el área más afectada en carecer de agua potable, saneamiento e higiene es el área rural ya que tan solo el 36.4% de la población cumple con los tres componentes antes mencionados. [5] Por esta razón la mayoría de áreas rurales o comunidades del Ecuador, no cuentan con plantas de tratamiento de agua residual que contribuyan a la reducción de contaminación en las diferentes cuencas del país, o por otro lado si poseen plantas de tratamiento, pero en pésimas condiciones, debido a su falta de mantenimiento y a su falta de control. El Gobierno autónomo descentralizado del cantón Quero ha dado la oportunidad a diferentes estudiantes para realizar un diagnóstico de sus plantas de tratamiento para comprobar si su funcionamiento es óptimo.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR en adelante) para este estudio, pertenece a la comunidad de Puñachizag, la misma que desde su momento de construcción y operación ha tenido un control inadecuado por parte de las autoridades pertinentes, por esta razón, ha provocado que su proceso de tratamiento funcione de una forma parcial, es decir que ya no remueve en su totalidad los contaminantes presentes, además que por falta de mantenimiento, en varias de sus estructuras hidráulicas exista la presencia de vegetación y humedad que con el paso de tiempo ha generado gran deterioro de las mismas.

1.1.2 Justificación

El tratamiento de las aguas residuales dentro de una población, es considerado algo prioritario, pues dicho tratamiento contribuye a la disminución de microorganismos patógenos y a su vez a la separación de residuos orgánicos que se encuentran en el agua, otorgando así diversos beneficios a la salud humana, a la ecología, a la industria e incluso en el comercio, ya que nos ayuda con la reducción de los niveles de contaminación tanto de ríos, lagos y aguas costeras, donde generalmente son descargadas las aguas residuales,

a su vez también se genera un aporte en la protección de flora y fauna, ya que, con un tratamiento adecuado se evitan descargas de desechos tóxicos y orgánicos que pueden llegar a contaminar las fuentes de agua de la población. [7]

Una de las causas principales, que generan el deficiente tratamiento de las aguas residuales en los distintos países de América latina, son los elevados costos de operación y mantenimiento de los sistemas de las PTAR. Lo cual es negativo al considerar al saneamiento algo importante que contribuye a la reducción de contaminación al líquido vital. [8]

En nuestro país la entidad encargada de controlar los recursos hídricos es la secretaria nacional del agua, conocida por sus acrónimos “SENAGUA”. Esta entidad por medio de la ley de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua tiene como finalidad recuperar, preservar y proteger las diferentes fuentes de agua que existen en nuestro país. Esto se puede llevar a cabo por medio de un control de los sistemas de saneamiento y alcantarillado, ya que con ello se puede evitar que el agua se contamine y que por su calidad pueda ser usada incluso para el consumo humano. [9]

De acuerdo con SENAGUA solamente alrededor del 10% de aguas residuales han pasado por algún nivel de tratamiento. Además, se estima que más del 70% de las diferentes cuencas hidrográficas en el país no son aptas para el consumo humano, por su alto nivel de contaminación. Unido a esto se debe considerar que mientras más se contamine el agua, más costoso resultará su tratamiento, comprometiendo directamente a las entidades del Estado a responder por la calidad de saneamiento en el país. [10]

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son de gran importancia en la población pues generan varios beneficios que aportan a la calidad de vida y también al evitar problemas medioambientales, sin embargo, las plantas necesitan ser evaluadas y monitoreadas periódicamente para garantizar su correcto funcionamiento. [11]

Es un derecho vivir en un ambiente sano y equilibrado, pues con ello se garantiza la sostenibilidad y el buen vivir (SUMAK KAWSAY). [9] Por esta razón por medio del GAD municipal del cantón Quero, se pudo conocer que existen sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales que han cumplido con su vida útil y necesitan de un estudio y evaluación para su rehabilitación respectiva.

La planta de tratamiento de esta investigación se encuentra actualmente en funcionamiento y recibe agua residual doméstica por parte del sistema de alcantarillado de la comunidad. Al observar la PTAR con una inspección previa se pudo notar el desgaste que tenía cada proceso unitario de la misma, la falta de un mantenimiento y un control periódico ya que en los filtros percoladores existe la presencia de vegetación. Debido a los años de construcción la planta puede estar alcanzando su vida útil de forma más rápida y también que por el aumento de la población está ya no esté funcionando de forma óptima.

Por tal razón es pertinente realizar dicho estudio, que en este caso será en la comunidad de Puñachizag, una de las diferentes comunidades que conforman el cantón, cuyo objetivo es optimizar el tratamiento del agua residual en su planta respectiva. Y con ello dar cumplimiento al derecho de vivir en un ambiente sano.

1.1.3 Fundamentación Teórica

Debido al bienestar que genera los sistemas de abastecimiento de agua y el saneamiento a las comunidades y a la población en general, es considerado importante el brindar el mantenimiento que requieren las PTAR para continuar con su normal funcionamiento. Puesto que al tratar las aguas residuales se elimina los agentes contaminantes para que el agua pueda ser reestablecida al entorno. [12]

1.1.3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento es un conjunto de sistemas básicos encargados de eliminar los

contaminantes físicos, químicos y biológicos que están presentes en las aguas residuales, contribuyendo así en la protección ambiental y otorgando condiciones sanitarias adecuadas para con ello mejorar la calidad del agua que va a ser reutilizada sin alterar el equilibrio ecológico del medio. [12]

1.1.3.2 Aguas residuales

Son descargas de usos municipales, industriales, comerciales, pecuarios, domésticos y de producción agrícola, o de cualquier otro tipo de uso en el cual el líquido haya sufrido degradación de su calidad original. Las aguas residuales provenientes de cualquier medio se introducen en las cloacas y son transportadas a través del sistema de alcantarillado. [13]

1.1.3.3 Aguas afluentes

Es el agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento. [14]

1.1.3.4 Características de las aguas residuales

Como se puede observar en la Tabla 1 el agua residual tiene variadas composiciones, debido a la transformación de diferentes contaminantes, pues se compone de un 99.9% que es el agua y el 1% está compuesto por materia solida ya sea materia mineral u orgánica, propias del ser humano. [15]

Tabla 1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y su procedencia.

CARACTERÍSTICAS		PROCEDENCIA
FÍSICAS	COLOR	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
	OLOR	Agua residual en descomposición, residuos industriales
	SOLIDOS	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
	TEMPERATURA	Aguas residuales domésticas e industriales

Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, METCALF & EDDY [16]

Tabla 2 continuación de la Tabla 1

QUÍMICAS	ORGÁNICOS	CARBOHIDRATOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		GRASAS ANIMALES.	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		ACEITES Y GRASA	
		PESTICIDAS	Residuos agrícolas
		FENOLES	Vertidos industriales
		PROTEÍNAS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		CONTAMINANTES	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		PRIORITARIOS	
		AGENTES TENSOACTIVOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		COMPUESTOS ORGÁNICOS	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		VOLÁTILES	
		OTROS	Degradación natural de materia orgánica
	INORGÁNICOS	ALCALINIDAD	Aguas residuales domésticas, agua de suministro,
			infiltración de agua subterránea.
		CLORUROS	Aguas residuales domésticas, agua de suministro,
			infiltración de agua subterránea.
		METALES PESADOS	Vertidos industriales
		NITRÓGENO	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
		Ph	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
		FOSFORO	Aguas residuales domésticas, industriales y
comerciales; aguas de escorrentía			
CONTAMINANTES	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales		
PRIORITARIOS			
AZUFRE	Agua de suministro, aguas residuales domésticas,		
	comerciales e industriales		
GASES	SULFURO DE HIDROGENO	Descomposición de residuos domésticos	
	METANO	Descomposición de residuos domésticos	
	OXIGENO	Agua de suministro, infiltración de agua superficial	
BIOLÓGICAS	ANIMALES		Cursos de agua y plantas de tratamiento
	PLANTAS		Cursos de agua y plantas de tratamiento
	PROTISTAS	EUBACTERIAS	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua
			superficial, plantas de tratamiento
	ARQUEOBACTERIAS	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua	
		superficial, plantas de tratamiento	
VIRUS		Aguas residuales domésticas	

Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, METCALF & EDDY [16]

1.1.3.5 Tipos de aguas residuales

1.1.3.5.1 Doméstica o urbana

Como se puede ver en la Figura 1 el agua residual doméstica proviene de los hogares, locales comerciales ya sean públicos o privados. Cuya composición equivale a los residuos de los servicios sanitarios, agua utilizada para el lavado, limpieza y aseo personal en las cuales se encuentran contaminantes como los agentes patógenos, detergentes, sólidos entre otros ya sean en menor o mayor proporción. [17]



Figura 1 Aguas residuales domesticas

Fuente: <http://ch-expociencia.blogspot.com/2013/08/aguas-residuales-domesticas.html>

1.1.3.5.2 Pecuarias

Como se puede observar en la Figura 2 el agua residual pecuaria es proveniente de la ganadería, posee características similares a las de uso doméstico y se desarrolla de forma intensiva y de forma difusa, en la primera se genera normalmente vertidos directos a los cauces, y en la otra se asocia a fenómenos hidrológicos y su control es difícil. [17]



Figura 2 Agua residual pecuaria

Fuente: <https://www.publitec.com/wp-content/uploads/GANADERIA-Y-MANEJO-SUSTENTABLE.pdf>

1.1.3.5.3 De origen agrícola

El agua residual de origen agrícola tiene que ver con el arrastre del agua por las lluvias y por el agua de riego que se usa en la agricultura como se puede ver en la Figura 3. Esta agua residual por lo general desemboca en ríos y embalses contaminando sus aguas debido al uso de contaminantes químicos. [17]



Figura 3 Agua residual agrícola

Fuente: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/las-aguas-residuales-de-origen-agricola-y-ganadero/>

1.1.3.5.4 Industrial

El agua residual industrial proviene de diversas actividades industriales como se observa en la Figura 4, la existencia de este tipo de agua es proporcional a las industrias que van apareciendo. Se dividen dentro de las industrias en aguas de proceso, limpieza, de uso doméstico, de refrigeración y calefacción, las cuales se clasifican con los mismos nombres y producen una contaminación diferente. [17]



Figura 4 Agua residual industrial

Fuente: <https://www.expoknews.com/ejemplo-de-gestion-de-aguas-residuales/>

1.1.3.5.5 Escorrentía

Son las aguas que provienen de las lluvias o nieves sobre una cavidad urbana, los caudales varían entre 50 a 200 veces superiores a aguas que pertenecen a locales comerciales e industriales. Predomina la superficie impermeable que recibe este tipo de agua como edificios, pavimentos, calzadas, azoteas y aceras como se puede ver en la Figura 5. [17]



Figura 5 Agua residual de escorrentía

Fuente: <https://www.neefusa.org/nature/water/consejos-para-reducir-el-impacto-de-la-escorrent-de-aguas-pluviales>

1.1.3.6 Funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales sirve para eliminar sólidos presentes en el agua residual, también ayuda a reducir la materia orgánica y los agentes contaminantes de la misma, restaurando el oxígeno para sostener la vida. [15]

1.1.3.6.1 Tratamiento primario

Tratamiento que permite la separación de las partículas sólidas de un tamaño considerable. Esto se realiza por medio de rejillas para el caso de retener basura y partículas grandes o por sedimentación para partículas de arena entre otras. [15]

1.1.3.6.2 Tratamiento secundario

Es un tratamiento cuya función es eliminar o evacuar un 90% de los contaminantes que se encuentran en el agua, esto se logra gracias a la utilización de un tanque que proporciona

una gran cantidad de aire a una mezcla de aguas residuales, bacterias y otros microorganismos y que con ayuda del oxígeno se acelera el crecimiento de microorganismos que a su vez consumen la materia orgánica dañina para el agua. [15]

1.1.3.6.3 Tratamiento terciario

Este tratamiento es complementario al anterior, pues debido a su procesos físicos y químicos limpia el agua tratada de los contaminantes concretos como el fósforo, nitrógenos, minerales y metales pesados, virus, bacterias, compuestos orgánicos, etc. Este tratamiento a diferencia de los demás ayuda a eliminar los desechos sobre todo de las aguas residuales provenientes de las industrias. [15]

1.1.3.6.4 Desinfección

Proceso que por medio de la adición de un desinfectante (cloro), se encarga de eliminar los microorganismos patógenos que se encuentran en el agua. [15]

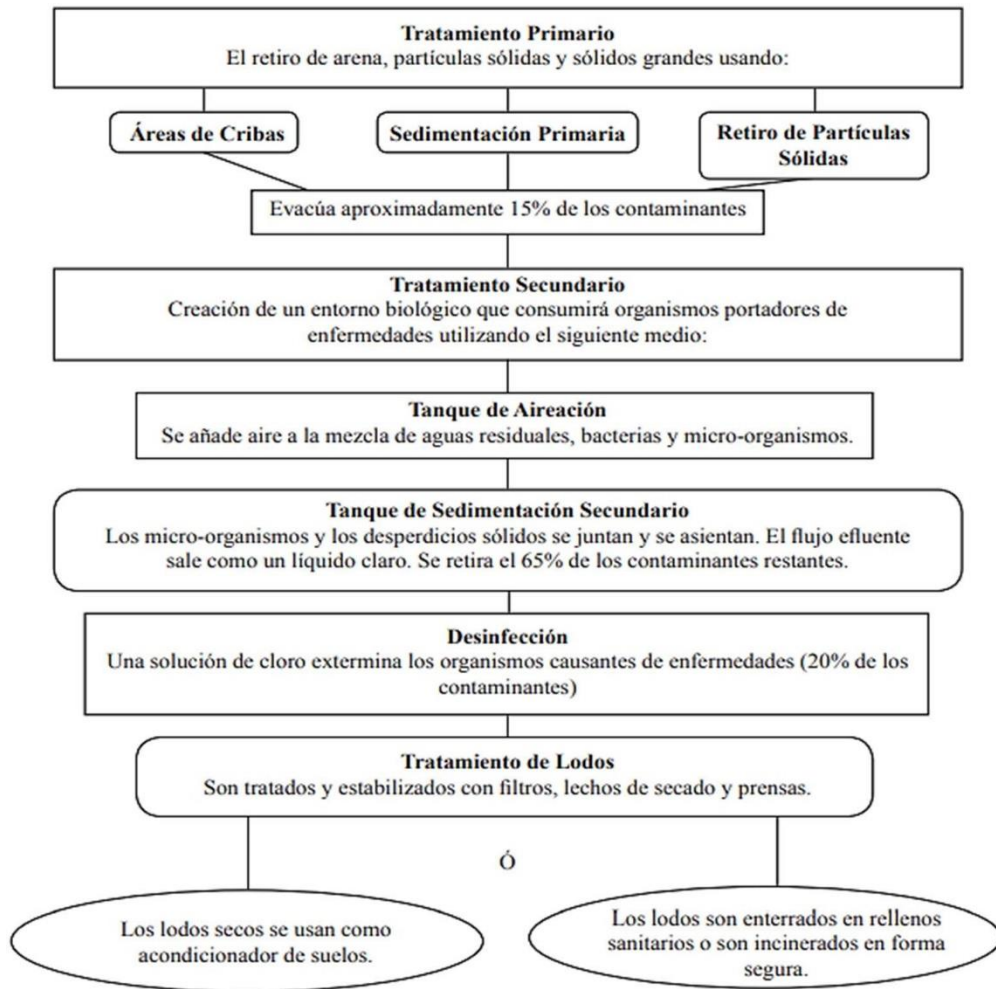
1.1.3.6.5 Tratamiento de lodos

Este proceso de aguas residuales tiende a generar gran variedad de subproductos que son retenidos en rejillas y sedimentadores, los mismos que deben pasar por un proceso de manejo exhaustivo como son espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación; ya que, al contener materia orgánica, puede afectar al medio ambiente. [18]

El lodo seco genera beneficios al ser acondicionador de suelos o para producir metano. El metano si es quemado, se puede utilizar para producir energía por medio de una pequeña planta eléctrica, mientras esta energía no contamine el medio ambiente. [15]

En la Tabla 3 se presentan los pasos para el proceso de tratamiento de aguas residuales:

Tabla 3 Pasos en el proceso de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, Alejandra Troconis [15]

1.1.3.7 Operaciones unitarias para el tratamiento de aguas residuales

1.1.3.7.1 Operaciones físicas unitarias

En estos métodos de tratamiento se recalca la acción de fuerzas físicas que admiten la separación de la materia en suspensión presente en el agua a tratar. Los sólidos en suspensión generalmente están formados por partículas de diversos tamaños y formas. La eliminación de este tipo de materia se realiza generalmente por medio de operaciones mecánicas. [19]

Las operaciones que se ejecutan como se puede ver en la Tabla 4 para eliminar este tipo de contaminación generalmente son las primeras en efectuarse dado a que, la presencia de partículas en suspensión dificulta otros procesos de tratamiento. La utilización de cualquier operación está en función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma) y de la concentración de las mismas. [20]

Tabla 4 Operaciones físicas unitarias

OPERACIÓN	APLICACIÓN
Desbaste	El objetivo es eliminarlo sólidos de gran tamaño y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro.
Sedimentación / Decantación	Aprovecha la fuerza de la gravedad de las partículas más densas del agua haciendo que tengan una trayectoria descendente y depositándolas en el fondo del sedimentador.
Filtración	Se hace pasar el agua a través de un medio poroso con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. Es un proceso muy utilizado en el tratamiento de aguas potables y en el tratamiento de aguas para reutilización.
Flotación	Genera pequeñas burbujas de gas (aire), que se asocian a las partículas presentes en el agua y que se elevan hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema.
Coagulación - Floculación	Favorece a la floculación de las partículas que tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta por medio de la adición de reactivos químicos. Esta operación se utiliza a menudo en el tratamiento de aguas residuales urbanas, potables e industriales.

Fuente: Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Agua Residuales Industriales [19]

1.1.3.7.2 Procesos químicos unitarios

Estos procesos como se pueden ver en la Tabla 5 permiten la remoción de la materia que se encuentra disuelta del agua a tratar mediante la adición de productos químicos que provocan el desarrollo de varias reacciones químicas. [19]

Los sólidos disueltos generalmente pueden tener características muy variadas: que van desde cantidades grandes de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable como en el caso de la industria de alimentación), hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas); siendo estos últimos de necesaria eliminación debido a que pueden llegar a

ser nocivos. [19]

Tabla 5 Procesos químicos unitarios

OPERACIÓN	APLICACIÓN
Precipitación	Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación.
Procesos Electroquímicos	Utiliza técnicas electroquímicas haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua y provocando reacciones de oxidación-reducción. Tiene una importante aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales.
Intercambio iónico	Utiliza resinas de intercambio iónico que es capaz de retener selectivamente los iones disueltos en el agua manteniéndolos temporalmente unidos a su superficie y cediéndolos a una disolución con un fuerte regenerante.
Adsorción	Consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido siendo un parámetro fundamental la superficie específica del mismo, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en su superficie. Es un tratamiento de refinado más usual, siendo utilizado especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.
Desinfección	Pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades. Se hace imprescindible para la protección de la salud pública si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano.

Fuente: Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Agua Residuales Industriales [19]

1.1.3.7.3 Procesos biológicos unitarios

Son procesos de tratamiento que utilizan microorganismos (especialmente las bacterias), para eliminar componentes peligrosos que se encuentran en el agua aprovechando la actividad metabólica de los mismos. Este proceso es más usado para el tratamiento de aguas residuales urbanas y aguas industriales. [20]

La aplicación de un proceso biológico consiste en la eliminación de la materia orgánica biodegradable tanto soluble como coloidal, ya que ésta constituye la fuente de energía: de carbono, oxígeno disuelto y nutrientes: Nitrógeno y Fósforo, componentes necesarios para el crecimiento de los microorganismos. En el metabolismo bacteriano es el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. [19] En la Tabla 6 se puede observar los diferentes sistemas y su fundamento.

Tabla 6 Procesos biológicos unitarios

TIPO DE SISTEMA	ELEMENTO ACEPTOR	FUNDAMENTO
Sistemas aerobios	Oxígeno disuelto.	Este compuesto hace que el rendimiento energético del tratamiento sea elevado provocando una generación de fangos debido al alto crecimiento de bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.
Sistemas anaerobios	CO ₂ o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido, el metano (CH ₄).	Este sistema tiene como ventaja la obtención de un gas combustible. Posee un bajo consumo de energía, produce poca cantidad de fangos y por tanto un menor requerimiento de nutrientes, y permite la posibilidad de periodos de parada en el proceso sin alterar la población bacteriana.
Sistemas anóxicos	Presencia de nitratos (NO ₃ ⁻)	La ausencia de oxígeno disuelto (O ₂) y la presencia de nitratos (NO ₃ ⁻) hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones transformándose en nitrógeno (N ₂), por tanto, es posible que en ciertas condiciones se consiga una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).

Fuente: Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Agua Residuales Industriales. [19]

1.1.3.8 Agua residual tratada

El agua tratada es el agua residual que ha eliminado la mayor parte de sus contaminantes presentes por medio de los diversos procesos de tratamiento, la misma que es devuelta a los diferentes efluentes de dónde provenía inicialmente o generalmente a nuevos efluentes. El agua tratada debe cumplir con los parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). Esta normativa nos presenta los parámetros máximos permitidos de los componentes del agua residual antes de ser descargados en los afluentes respectivos ya sea en sistemas de alcantarillado (Tabla 7) o cuerpos de agua dulce (Tabla 9) o marina. [21]

Tabla 7 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

PARÁMETRO	EXPRESADO	UNIDAD	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE
	COMO		
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/l	cero
Alkil mercurio		mg/l	no detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1
Cinc	Zn	mg/l	10
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Extracto carbón	mg/l	0.1
	cloroformo		
Cobalto total	Co	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0.2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de	DBO5	mg/l	250
Oxígeno (5 días)			
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	50
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hidrocarburos Totales de	TPH	mg/l	20
Petróleo			
Hierro total	Fe	mg/l	25
Manganeso total	Mn	mg/l	10
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno Total	N	mg/l	60
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.5

Fuente: TULSMA 2015 [21]

Tabla 8 Continuación de la Tabla 7

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁX.
			PERMISIBLE
Plomo	Pb	mg/l	0.5
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-sep
Selenio	Se	mg/l	0.5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20
Sólidos Suspendidos	SST	mg/l	220
Totales			
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ -2	mg/l	400
Sulfuros	s	mg/l	1
Temperatura	°C	mg/l	< 40
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul	mg/l	2
	de metileno		
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1

Fuente: TULSMA 2015 [21]

Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARÁMETRO	EXPRESADO	UNIDAD	LÍMITE MÁX.
	COMO		PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sust. solubles en	mg/l	30
	hexano		
Alkil mercurio		mg/l	no detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Extracto carbón	mg/l	0.1
	cloroformo		
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000

Fuente: TULSMA 2015 [21]

Tabla 10 Continuación de la Tabla 9

PARÁMETRO	EXPRESADO	UNIDAD	LÍMITE MÁX.
	COMO		PERMISIBLE
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real	Color real	unidades de	inapreciable en
		color	dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de	DBO5	mg/l	100
Oxígeno (5 días)			
Demanda Química de	DQO	mg/l	200
Oxígeno			
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de	TPH	mg/l	20
Petróleo			
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno Total	N	mg/l	50
Compuestos	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Organoclorados			
Compuestos	Organofosforados totales	µg/l	0.1
Organofosforados			
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH		6-sep
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos Suspendidos	SST	mg/l	130
Totales			

Fuente: TULSMA 2015 [21]

Tabla 11 Continuación de la Tabla 9

PARÁMETRO	EXPRESADO	UNIDAD	LÍMITE MÁX.
	COMO		PERMISIBLE
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ -2	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0.5
Temperatura	°C		condición neutral ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

Fuente: TULSMA 2015 [21]

1.1.3.9 Procesos de una planta de tratamiento de agua residual

Para una correcta remoción de contaminantes presentes en el agua residual es necesario de una selección adecuada de procesos y operaciones unitarias para la PTAR, así con ello lograr un funcionamiento óptimo de la misma. [16] Los procesos más comunes que se presentan en una planta de tratamiento son:

1.1.3.9.1 Cribado

Es un proceso que consiste en eliminar los contaminantes de mayor tamaño o residuos que son fácilmente visibles en el agua residual, evitando así posibles daños en los procesos siguientes de la PTAR. El cribado puede ser de diversos tamaños los cuales dependen del tamaño de la partícula que se desea remover. [22]

1.1.3.9.2 Desarenador

Proceso que consiste en reducir la velocidad de ingreso del agua residual a la PTAR y que a la vez permite el asentamiento de los sólidos que se encuentran mezclados en el agua como es el caso de la arena. [23]

1.1.3.9.3 Tanque séptico

Es un proceso combinado ya que posee en primera instancia un tanque sedimentador encargado de retener los sólidos más pesados en el fondo de dicho tanque y en la parte superior las partículas más livianas y las grasas. Posteriormente cumple con la biodegradación de la materia orgánica presentes en el agua residual y finalmente con la remoción de los lodos (materia básica sedimentada). [24]

1.1.3.9.4 Filtro biológico FAFA

También conocido como filtro anaerobio de flujo ascendente puesto que permite la separación de la materia orgánica bajo condiciones anaerobias, es decir que el agua residual ingresa por el fondo del filtro y es expulsada por la parte superior del mismo. Existen diferentes materiales utilizados como medios filtrantes, entre los cuales se tiene la grava, piedra bola de río e inclusive se puede usar rellenos sintéticos, los mismos que cumplen con la función de retener la mayor cantidad de sólidos presentes en el agua residual. [25]

1.1.3.9.5 Lecho de secado de lodos

El lecho de secado de lodos son patios o espacios en donde se depositan los lodos generados por procesos de la PTAR, como: los tanques sépticos, sedimentadores o los reactores anaerobios. Los mismos que son deshidratados por medio de la evaporación. [26]

1.1.3.9.6 Desinfección

Es un proceso donde se consigue la eliminación de las bacterias y virus existentes en los residuos fecales del agua residual por medio de un agente de desinfección, siendo el más

común el cloro. Es un proceso de vital importancia ya que existe la posibilidad que algunos contaminantes no hayan sido removidos en procesos anteriores. [23]

1.1.3.9.7 Porcentaje de remoción teórica por procesos

El rendimiento de una planta de tratamiento es medido en base a los parámetros del agua residual que ingresa en comparación con los parámetros que salen en el agua ya tratada y por medio de ello, conocer el porcentaje de remoción que tiene la PTAR. Este rendimiento depende en su mayor parte de la capacidad que tienen los diferentes procesos unitarios para eliminar la contaminación como se puede ver en la Tabla 12. [27]

Tabla 12 Rendimiento de eliminación de contaminantes según las unidades de tratamiento

Unidades de tratamiento	RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DEL CONSTITUYENTE, PORCENTAJE					
	BDO	DQO	SS	P ^b	N - Org ^c	NH ₃ -N
Rejas de barras	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo
Desarenadores	0 - 5 d	0 - 5 d	0 - 10 d	nulo	nulo	nulo
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Fangos activados						
(Proceso convencional)	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Filtros percoladores						
Alta carga, medio pétreo	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Carga muy alta, medio sintético	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15
Biodiscos (RBCs)	80-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15
Cloración	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo

Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, METCALF & EDDY [16]

1.1.3.10 Parámetros típicos para la evaluación de la calidad del agua residual

En la evaluación, operación y diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales se debe conocer los diferentes parámetros que el agua residual posee. Entre ellos tenemos los siguientes:

1.1.3.10.1 Sólidos Suspendedos Totales

Los sólidos suspendidos totales por sus siglas SST son parámetros importantes en el agua residual ya que permiten la verificación de la cantidad de microorganismos que se pueden encontrar en la misma, están constituidos tanto por partículas orgánicas como por partículas inorgánicas, las mismas que se pueden separar de la parte líquida con mucha facilidad por medio de la sedimentación o por medio de la filtración. [18]

1.1.3.10.2 Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno también conocida por sus siglas como DQO, es un parámetro del agua residual que nos ayuda a conocer la cantidad de oxígeno que se necesita para el proceso de oxidación química de la materia orgánica, mismo que proporciona información sobre la concentración de materia orgánica que se encuentra en el agua residual. [18]

1.1.3.10.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno conocida por sus siglas como DBO₅, trata de un parámetro que nos ayuda a conocer la cantidad de materia orgánica biodegradable que se puede producir dentro un periodo de cinco días por medio de una temperatura de 20°C. Es la cantidad de oxígeno que se necesita para realizar con efectividad una oxidación biológica.[18]

1.1.3.10.4 Contenido de nutrientes (Nitrógeno N y Fósforo P)

Este parámetro está conformado por los compuestos de materia carbonácea o DBO₅ y nos ayuda a conocer si existe una proporción óptima de nutrientes en el agua residual que facilite el proceso de degradación de la materia orgánica. [18]

1.1.3.10.5 Potencial Hidrógeno (pH)

El potencial de Hidrogeno nos permite conocer la calidad y la concentración de este parámetro en el agua residual, cuya finalidad es generar una proliferación y un desarrollo óptimo de la acción biológica. [16]

1.1.4 Hipótesis

1.1.4.1 Hipótesis de trabajo

La planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la comunidad de Puñachizag, cantón Quero, provincia de Tungurahua no se encuentra funcionando de forma óptima en sus condiciones actuales.

1.1.4.2 Hipótesis nula

La planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la comunidad de Puñachizag, cantón Quero, provincia de Tungurahua se encuentra funcionando de forma óptima en sus condiciones actuales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Puñachizag, cantón Quero, provincia de Tungurahua.

1.2.2 Objetivo general

- Realizar el levantamiento de información de la planta de tratamiento.
- Analizar el agua del influente y efluente de la planta de tratamiento.
- Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento según la normativa

vigente del TULSMA 2015.

- Realizar una propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento en caso de ser necesario.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales y equipos

A continuación, en la Tabla 13 y Tabla 14 se presentan los diferentes materiales y equipos utilizados para esta investigación.

Tabla 13 Materiales

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Balde 4 lt	1	unid
Hojas de papel bond	1	resma
Cuaderno	1	unid
Cámara	1	unid
Cronometro	1	unid
Flexómetro	1	unid
Cinta métrica	1	unid
Computadora	1	unid

Fuente: El autor

Tabla 14 Equipos de seguridad

EQUIPOS	CANTIDAD	UNIDAD
Guantes de caucho	4	par
Mascarilla	7	unid
Botas de seguridad	1	par
Mandil	1	unid

Fuente: El autor

2.2 Metodología

En la presente investigación del trabajo experimental se realiza la evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag perteneciente al cantón Quero de la provincia de Tungurahua por medio de las siguientes fases:

FASE 1: Levantamiento de información

En esta fase se realizan diferentes actividades como: una breve revisión bibliográfica del cantón Quero, ubicación, límites, actividad económica y con ello también de la comunidad Puñachizag y su planta de tratamiento de aguas residuales respectivamente. También se realiza una recopilación de información general de la PTAR datos técnicos como el caudal de diseño con el que fue construida, el tiempo de retención de la misma, el tipo de agua que la PTAR debe tratar y con ello los planos respectivos del diseño.

FASE 2: Investigación de campo

En esta fase se realiza en primera instancia una visita técnica para comprobar mediante la observación el estado actual de cada uno de los procesos unitarios que conforman la PTAR, además de la toma de las dimensiones de cada proceso para compararlo con el plano respectivo. También se realiza la medición de los caudales de ingreso y de salida de la planta para determinar el caudal de diseño, cuyo valor es necesario para el diagnóstico de funcionamiento de la PTAR. Finalmente se realiza la toma de las muestras del agua residual tanto de ingreso para conocer la calidad de agua residual que está tratando la planta y de salida para conocer si la planta cumple con eliminar la mayor cantidad de contaminantes del agua y es apta para ser arrojada a los diferentes cuerpos sin contaminar el ambiente.

FASE 3: Investigación de laboratorio

En esta fase las muestras de agua residual que se tomaron anteriormente son enviadas a un laboratorio especializado para que se efectúe un análisis de la calidad de la misma, cuyos parámetros generalmente tratados son: pH, DQO, DBO5, aceites y grasas, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforos totales y finalmente solidos suspendidos, esto se realiza de acuerdo a los diferentes procedimientos o técnicas existentes.

FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento

En esta fase se realiza un diagnóstico detallado de cada uno de los procesos unitarios de la PTAR, su condición actual y si dicho proceso se encuentra o no funcionando. También se realiza la toma de fotografías como evidencias para el respectivo informe y de acuerdo a ello el análisis de cada proceso.

2.2.1 Plan de recolección de datos

2.2.1.1 FASE 1: Levantamiento de información

El cantón Quero está situado al suroeste de la Provincia de Tungurahua a una altura entre 2800 a 4300 msnm y aproximadamente a una distancia de 20 kilómetros de la Ciudad de Ambato. [28]

Posee un área territorial de aproximadamente de 179 km², en donde 123 hectáreas pertenecen a la zona urbana, 45 km² pertenecen a la Parroquia de Yanayacu y 35 km² a la Parroquia de Rumipamba. El cantón se encuentra limitado por los cantones, al norte el cantón Cevallos, al sur el cantón Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo, al este Pelileo y al Oeste Mocha, esto se puede observar en la Figura 6 [28]



Figura 6 División Política del Cantón Quero

Fuente: <https://www.quero.gob.ec/index.php/municipalidades/division-politica>

La actividad económica con la cual se maneja el Cantón Quero, se basa principalmente en el cultivo y con ello la producción de la tierra. Este tipo de trabajo se realiza de forma manual, en donde se cultiva productos cuyo ciclo es corto como por ejemplo el cultivo de papas, cebolla, zanahoria, melloco, entre otros. Y como otra actividad alternativa se tiene el cultivo del pasto para la ganadería, esto se realiza con mayor énfasis en zonas altas en donde los habitantes se han dedicado al cuidado de ganado vacuno y ovino. [28]

La comunidad de Puñachizag se encuentra aproximadamente a 10 minutos del centro del cantón Quero y tiene una extensión de 45 hectáreas con una población de aproximadamente 376 familias, la comunidad cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable y un sistema de alcantarillado para descargas de agua residual doméstica la misma que es conducida hacia la planta de tratamiento. [28]



Figura 7 Comunidad de Puñachizag

Fuente: El autor

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en el sector bajo de la comunidad de Puñachizag, la misma que se halla actualmente en funcionamiento. El diseño de la PTAR fue realizado en el año 2004 por un convenio interinstitucional entre la ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas) y el municipio de Quero y fue construida en el año 2006 por el Honorable Consejo Provincial de Tungurahua y entregada oficialmente a la comunidad el 20 de octubre del 2007.

Con el apoyo del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua y del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Quero por parte del ingeniero Gabriel Velastegui jefe de agua potable y alcantarillado se pudo conocer los datos que se observan en la Tabla 15.

Tabla 15 Datos de la PTAR de la comunidad de Puñachizag

DATOS DISPONIBLES DE LA PTAR DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG	
Población	376 familias
Dotación de agua potable	75 lt/hab/día
Tipo de agua residual	doméstica
Redes de recolección	8325 mts. Ø 200 mm
Pozos de revisión	157 u
Costo total del proyecto	\$ 170.400,00
Fecha de inicio de funcionamiento	20 de octubre del 2007

Fuente: El autor

Debido al tiempo de diseño de la PTAR y con ello al cambio de administración de las diferentes entidades, actualmente no se cuenta con una memoria técnica que refleje el diseño de cada elemento hidráulico presente en los planos, además se pudo evidenciar que no se respetó el diseño de los mismos en la construcción puesto que el orden de cada elemento ya construido es diferente al orden que indican los planos. Al no tener los datos técnicos iniciales de la PTAR es necesario realizar el cálculo de los mismos con cada proceso unitario para poder conocer su estado actual de operación.

De acuerdo al GAD del cantón Quero se pudo evidenciar que si se realiza un mantenimiento en las diferentes plantas que conforman el cantón, realizando previamente

un plan de mantenimiento el mismo que se puede encontrar como evidencia en el anexo 2.

La PTAR de la comunidad de Puñachizag cuenta con diversos procesos unitarios con el objetivo de realizar una desinfección del agua residual entre los cuales se tiene: Desarenador, tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente, filtro descendente y finalmente un lecho de secado de lodos, los mismos que se encuentran en un predio de alrededor de 600 metros cuadrados.

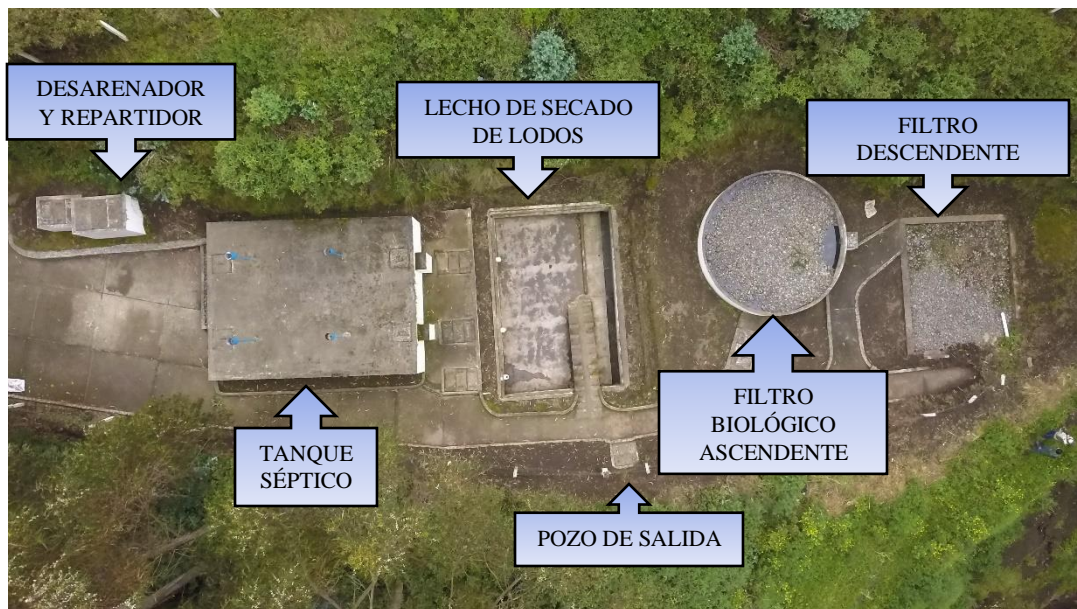


Figura 8 PTAR Comunidad de Puñachizag, Cantón Quero

Fuente: El autor

2.2.1.2 FASE 2: Levantamiento de campo

2.2.1.2.1 Medición de caudales

Según Metcalf & Eddy en el libro de ingeniería de aguas residuales, se identifican factores críticos de dimensionamiento para una PTAR en donde se puede observar que se utiliza el caudal máximo horario para el dimensionamiento de los diferentes procesos u operaciones unitarias de una planta, este caudal en base al mismo autor es el caudal

máximo que se puede dar en un periodo de 24 horas, en caso de no tener un registro del mismo se deberá realizar una toma de caudales en cada hora del día.

Al realizar una charla con algunos representantes de la comunidad de Puñachizag entre ellos el presidente Cristian Tipán y el operador de la planta el señor Luis Sánchez, se pudo conocer que la mayor parte de los pobladores de la comunidad empiezan las acciones del día a partir de las 7 de la mañana aproximadamente, hora de la cual realizan actividades de aseo personal entre ellas: bañarse y alimentarse (desayuno), y posteriormente al mediodía generalmente el almuerzo. Por esta razón se puede asumir que desde las 8 de la mañana se deben tener como resultado los caudales más altos, al igual que en las horas del mediodía debido a la alimentación, y que en las horas de la tarde vaya disminuyendo especialmente en la noche puesto que la mayoría de la población duerme.

Como se nombró anteriormente según Metcalf & Eddy se debe realizar una toma de caudales las 24 horas del día, sin embargo, por los criterios anteriormente descritos se optó por un rango de horas que sería desde las 8 de la mañana hasta las 5 de la tarde, hora donde generalmente los pobladores regresan a sus viviendas, descartando las horas de la noche por las razones antes descritas. Además, por motivos de seguridad se realizó la toma de caudales por una semana con el fin de tener un registro más amplio de todos los diferentes caudales que se puede tener en el transcurso de la semana y con ello por medio del uso de la estadística, obtener un caudal de diseño para el análisis respectivo.

Para la realización de la medición de caudales del agua residual que ingresa y sale de la PTAR de la comunidad de Puñachizag se utilizó el método de la medición volumétrica que consiste en llenar un balde cuya medida ya está marcada con agua, y por medio de un cronometro anotar el tiempo en que se demora el agua en llegar a dicha medida.

Con todo lo anteriormente nombrado se realiza una planificación con las siguientes actividades a realizar como se puede ver en la Tabla 16.

Tabla 16 Planificación de la toma de caudales de la PTAR

FECHA	DURACIÓN	ACTIVIDAD	SUB-TAREAS	EQUIPO Y MATERIALES
07/02/2021	1 día	Se realiza dos tablas para cada día, una para el registro de caudales de ingreso y otra para los de salida, con las siguientes variables: fecha, horas, volumen, tiempo y caudal.		<ul style="list-style-type: none"> • Computadora • Impresora • Hojas de papel bond
08/02/2021 AL 14/02/2021	7 días	Por medio del método volumétrico, se realiza la toma de tres caudales de agua residual primero de ingreso y posteriormente de salida para cada hora establecida.	Se anota el promedio de los caudales en las tablas de registro y se calcula el caudal respectivo. También se toma fotos como evidencia fotográfica de la actividad realizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de seguridad (Ver tabla 14) • Balde 4 lt • Cronómetro • Lápiz • Cámara
15/02/2021	1 día	Se transcribe los valores tomados a una tabla de Excel para el análisis respectivo		<ul style="list-style-type: none"> • Computadora

Fuente: El autor

Para representar los diferentes caudales de ingreso se realizó la Tabla 17 y para observar el comportamiento por día de dichos caudales se realizó la Figura 9.

Tabla 17 Resumen de la toma de caudales de ingreso a la PTAR en lt/s

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 A 9:00	0,27	0,52	0,83	0,46	0,95	0,12	0,39	0,50
9:00 A 10:00	0,69	0,72	0,51	0,40	0,42	0,14	0,34	0,46
10:00 A 11:00	0,73	0,62	0,45	0,64	0,53	0,17	0,30	0,49
11:00 A 12:00	0,46	0,37	0,34	0,54	0,58	0,16	0,43	0,41
12:00 A 13:00	0,53	0,41	0,29	0,26	0,36	0,40	0,42	0,38
13:00 A 14:00	0,83	0,75	0,58	0,44	0,26	0,55	0,86	0,61
14:00 A 15:00	0,95	0,13	0,41	0,65	0,29	0,75	0,90	0,58
15:00 A 16:00	0,50	0,09	0,55	0,81	0,41	0,84	0,89	0,58
16:00 A 17:00	1,21	0,25	0,36	0,58	0,33	1,11	0,69	0,65

Fuente: El autor

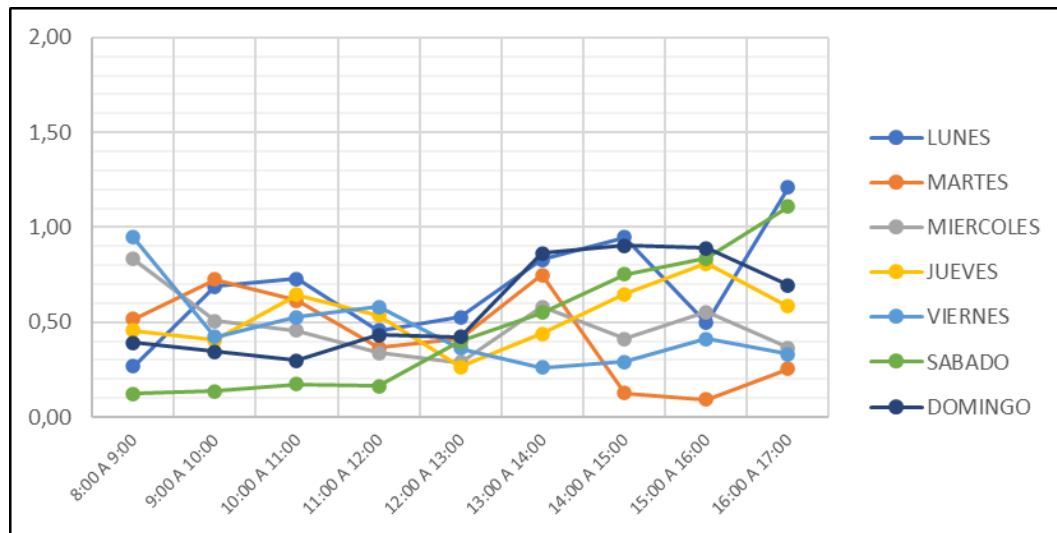


Figura 9 Comportamiento de los caudales de ingreso

Fuente: El autor

Como se puede observar en la Tabla 17 y en la Figura 9 no existe una hora en el día en donde el caudal pico sea constante esto se debe según Metcalf & Eddy a que los caudales de punta pueden ser absorbidos en parte por la capacidad de almacenamiento de la red de alcantarillado. Por esta razón no se tiene un caudal máximo horario que aparezca en el mismo intervalo de horas de cada día de la semana.

Para representar los diferentes caudales de salida se realizó la Tabla 18 y para observar el comportamiento por día de dichos caudales se realizó la Figura 10.

Tabla 18 Resumen de la toma de caudales de salida de la PTAR en lt/s

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 A 9:00	0,25	0,46	0,34	0,31	0,32	0,06	0,35	0,30
9:00 A 10:00	0,40	0,47	0,43	0,08	0,52	0,04	0,18	0,30
10:00 A 11:00	0,52	0,58	0,24	0,49	0,05	0,04	0,24	0,31
11:00 A 12:00	0,51	0,53	0,38	0,31	0,16	0,06	0,33	0,33
12:00 A 13:00	0,54	0,55	0,28	0,22	0,08	0,17	0,68	0,36
13:00 A 14:00	0,52	0,58	0,35	0,20	0,20	0,44	0,14	0,35
14:00 A 15:00	0,53	0,50	0,40	0,41	0,06	0,55	0,68	0,45
15:00 A 16:00	0,54	0,32	0,29	0,46	0,07	0,69	0,69	0,44
16:00 A 17:00	0,55	0,26	0,25	0,34	0,21	0,98	0,63	0,46

Fuente: El autor

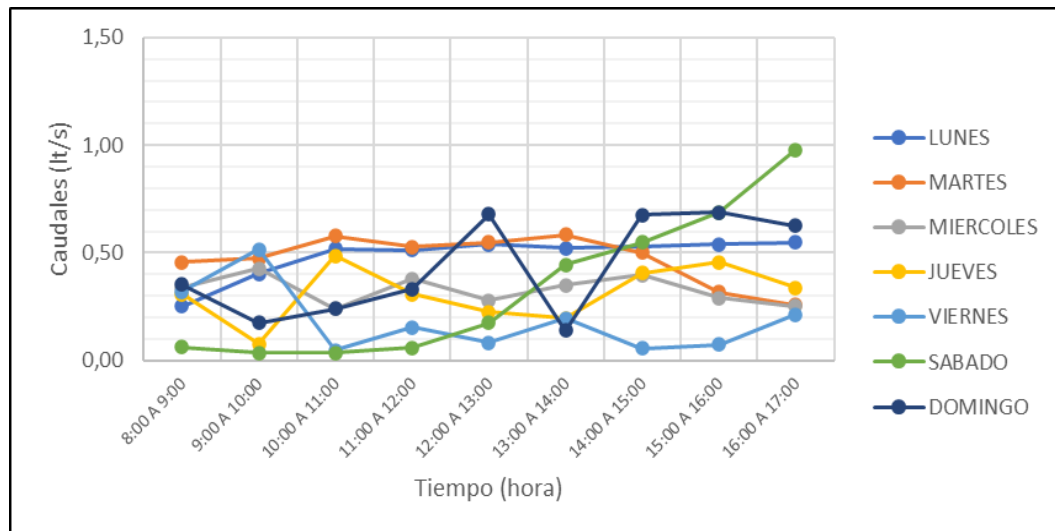


Figura 10 Comportamiento de los caudales de salida

Fuente: El autor

Como se puede observar en la Tabla 18 y en la Figura 10, los caudales de salida no son constantes, y según el promedio son relativamente menores a los caudales promedio de ingreso; esto se puede deber al tiempo de retención que existe en cada uno de los procesos unitarios y también que en la semana de toma de caudales el lecho de secado de lodos se encontraba operativo. También se pudo apreciar que el día sábado en la mañana los lodos que eran expulsados del tanque séptico al lecho de secado tenían en su composición más agua residual de lo normal y esto se pudo comprobar en los resultados de la toma de caudales, pues estos eran significativamente menores a los caudales que se tomaron días anteriores especialmente en el rango de 08 a 13 horas y también algunas horas del día viernes. En horas de la tarde del día sábado y todo el día domingo ya se empezó a tomar caudales parecidos a los días iniciales de la medición. Esta es otra razón por la que se obtuvo un promedio de caudales menor en comparación al promedio de caudales de ingreso.

A continuación, en la Figura 11 y la Figura 12 se muestra evidencias fotográficas de la toma de caudales.



Figura 11 Toma de caudales de agua residual de ingreso de la planta de Puñachizag

Fuente: El autor



Figura 12 Toma de caudales de agua tratada de salida de la planta de Puñachizag

Fuente: El autor

2.2.1.2.2 Toma de muestra de agua residual

Para realizar la toma de muestras se optó por las consideraciones que nos presenta el Instituto Ecuatoriano de Normalización en sus dos normas:

NTE INEN 2 176:98 Agua, calidad de agua, muestreo, técnicas de muestreo. En donde se presenta las técnicas correctas para realizar el muestreo respectivo y los recipientes que se deben usar.

NTE INEN 2 169:98 Agua, calidad de agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras. En donde se presenta las precauciones que se debe tomar para la conservación y el correcto transporte de las muestras.

Finalmente se tomó las consideraciones por parte del laboratorio de servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), donde se debe tomar una muestra de agua residual de ingreso a la PTAR en un recipiente de vidrio ámbar para el parámetro aceites y grasas, y tres muestras de forma simultánea en recipientes de polietileno para los demás parámetros. De igual forma se realiza la misma toma de muestras para el agua tratada es decir el agua que sale de la planta.

Con todos los parámetros antes nombrados se tiene la siguiente planificación para la toma de muestras, misma que se realiza el día miércoles 7 de abril del 2021 desde las 16:00 horas. Tomando en primera instancia muestras de ingreso y posteriormente las muestras de salida, esto se indica en la Tabla 19.

Tabla 19 Planificación de la toma de muestra de agua residual de la PTAR

FECHA	DURACIÓN	ACTIVIDAD	SUB-TAREAS	EQUIPO Y MATERIALES
06/04/2021	1 día	Se realiza la compra de los recipientes para los diferentes parámetros.	Se realiza las etiquetas de datos para cada recipiente con las variables como fecha, hora de toma de muestra, número de muestra y nombre de la comunidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de papel bond • Material de oficina
07/04/2021	1 día	Se realiza la toma de las muestras, siguiendo las consideraciones de la norma NTE INEN 2 176:98, NTE INEN 2 169:98 y del laboratorio de servicios ambientales de la UNACH	Inmediatamente terminado la toma de muestras, se traslada a las mismas al laboratorio de servicios ambientales de la UNACH con su conservación respectiva según la norma NTE INEN 2 169:98	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de seguridad (Ver tabla 14) • 6 recipientes de polietileno • 2 recipientes de vidrio ámbar • Recipiente

Fuente: El autor

En las siguientes figuras se muestran las evidencias fotográficas indicando el desarrollo del trabajo.



Figura 13 Toma de muestras de agua residual de ingreso a la planta de Puñachizag
Fuente: El autor



Figura 14 Toma de muestras de agua tratada de salida de la planta de Puñachizag
Fuente: El autor



Figura 15 Personalización de las muestras de agua de entrada y salida de la PTAR
Fuente: El autor

2.2.1.3 FASE 3: Investigación de laboratorio

El laboratorio de servicios ambientales de la UNACH, receipta las muestras y realiza el análisis físico químico respectivo de las mismas, siguiendo las diferentes técnicas o métodos existentes como se muestra en la Tabla 20 a continuación.

Tabla 20 Diferentes métodos utilizados en la caracterización del agua residual

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO
pH	-	PE-LSA-01
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 D

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales de la UNACH

2.2.1.4 FASE 4: Análisis y comprobación de funcionamiento de la PTAR

La planta de tratamiento debido al tiempo de construcción se nota algo deteriorada, donde también debido a la falta de un mantenimiento adecuado en algunos de los procesos unitarios como es el caso del filtro anaerobio de flujo ascendente y descendente existe la presencia de vegetación.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag consta de un tren de tratamiento conformado por: un desarenador, un pozo séptico de doble cámara, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), filtro descendente y finalmente un lecho o patio de secado para los lodos producidos por el tanque séptico. A continuación, se puede observar el estado en que se encuentran actualmente cada una de las construcciones hidráulicas antes nombradas.

2.2.1.4.1 Desarenador

El desarenador se encuentra actualmente en funcionamiento, con un deterioro en su estructura leve sin embargo como se puede observar además de cumplir con su función, se colocaron rejillas para retener los sólidos grandes, las mismas que se encuentran oxidadas y defectuosas que en algunas partes obstruye el paso del agua residual de forma correcta como se puede observar en la Figura 16.



Figura 16 Desarenador de la PTAR

Fuente: El autor

2.2.1.4.2 Tanque séptico

El tanque séptico de la PTAR se encuentra actualmente en funcionamiento, con un deterioro en su estructura leve, mismo que está construido con dos fosas sépticas y cada una de ellas dividida en dos cámaras. Su estado se puede observar en la Figura 17.



Figura 17 Tanque séptico de la PTAR

Fuente: El autor

2.2.1.4.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente y descendente

Los filtros tanto ascendente como descendente se encuentran actualmente en funcionamiento con un deterioro en su estructura leve, pero superficialmente se nota deteriorado puesto que se puede observar la presencia de vegetación y tierra en el interior de los mismos obstaculizando el recorrido correcto del agua residual y con ello afectando las paredes de los filtros ya que disminuye el tiempo de vida útil de los mismos. Como se ve en la Figura 18.



Figura 18 Filtro anaerobio de flujo ascendente y descendente de la PTAR

Fuente: El autor

2.2.1.4.4 Lecho de secado de lodos

El lecho de secado de lodos se encuentra actualmente en funcionamiento y se ve levemente deteriorado en la parte superior de las paredes del mismo, debido a la vegetación presente, además, una de sus tuberías tiene una ruptura en la parte frontal que, aunque no afecte su funcionamiento es una muestra de la falta de un mantenimiento adecuado.



Figura 19 Lecho o patio de secado de lodos de la PTAR

Fuente: El autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Análisis de muestra de agua residual

Con los procedimientos realizados por parte del laboratorio de servicios ambientales de la UNACH para determinar el análisis físico químico del agua residual de ingreso y del agua tratada de salida de la PTAR, se obtuvo los siguientes resultados que se observan en la Tabla 21.

Tabla 21 Resultados de análisis de agua de ingreso a la PTAR

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,26	+/- 0,08	07 - 04 - 21
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	904	N/A	07 - 04 - 21
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	448	N/A	07 - 04 - 21
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	291,64	N/A	07 - 04 - 21
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	9,32	N/A	07 - 04 - 21
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B	14,02	N/A	07 - 04 - 21
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	7,50	N/A	07 - 04 - 21
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 D	645	N/A	07 - 04 - 21

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales de la UNACH

Tabla 22 Resultados de análisis de agua de salida a la PTAR

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,51	+/- 0,08	07 - 04 - 21
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	179	N/A	07 - 04 - 21
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	81	N/A	07 - 04 - 21
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	44,86	N/A	07 - 04 - 21
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	7,20	N/A	07 - 04 - 21
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B	11,70	N/A	07 - 04 - 21
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	3,83	N/A	07 - 04 - 21
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 D	74	N/A	07 - 04 - 21

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales de la UNACH

3.1.2 Análisis comparativo de resultados con el TULSMA 2015

Los resultados obtenidos en el análisis del agua residual fueron comparados con los límites permitidos para la descarga de agua residual tratada en un cuerpo de agua dulce del TULSMA 2015, el mismo que se puede observar en la Tabla 9, para con ello verificar si el funcionamiento del PTAR cumple con dicha normativa.

Tabla 23 Análisis comparativo de resultados de la muestra TULSMA 2015

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	ENTRADA	SALIDA	TULSMA LÍMITE MÁXIMO	CUMPLE
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	904	179	200	SI
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	448	81	100	SI
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	291,64	44,86	30	NO
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 B&C	9,32	7,2	30	SI

Fuente: El autor

Tabla 24 Continuación de la Tabla 23

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	ENTRADA	SALIDA	TULSMA LÍMITE MÁXIMO	CUMPLE
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B	14,02	11,7	50	SI
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	7,5	3,83	10	SI
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 D	645	74	130	SI

Fuente: El autor

Para tener una mejor comprensión del porcentaje de contaminantes que son removidos por la PTAR se realizó la Tabla 25 y con ello un esquema de remoción de dichos contaminantes como se puede ver en la Figura 20:

Tabla 25 Remoción real de agentes contaminantes de la muestra

PARÁMETROS	UNIDADES	ENTRADA	SALIDA	% DE REMOCIÓN REAL
* DQO	mg/l	904	179	80%
* DBO5	mg O2/l	448	81	82%
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	9,32	7,20	23%
* Nitrógeno Total	mg/l	14,02	11,70	17%
* Fósforo Total	mg/l	7,50	3,83	49%
* Sólidos Suspendidos	mg/l	645	74	89%

Fuente: El autor

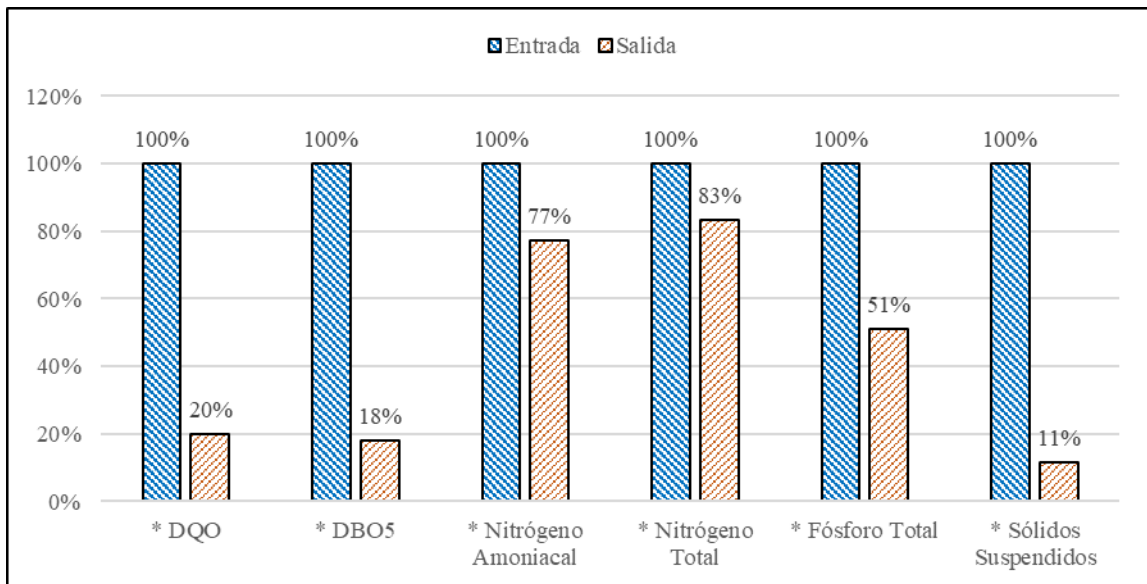


Figura 20 Esquema de remoción real de contaminantes de la muestra

Fuente: El autor

Con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH en comparación con la norma TULSMA 2015, se pudo determinar que el agua tratada cumple con la mayor parte de los límites máximos permitidos con excepción del parámetro “aceites y grasas” que es mayor a los valores límites que establece el TULSMA, por esta razón para conocer con un mayor detalle el funcionamiento de la PTAR se debe realizar una evaluación de cada una de las obras hidráulicas de la misma en base a normas y criterios de diseño, empezando por el conocimiento de las dimensiones cada obra.

3.2 Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag

3.2.1 Diagnóstico técnico

Por medio de la información adquirida de la planta de tratamiento de la comunidad de Puñachizag, como la caracterización de las aguas residuales que ingresan a la planta y las dimensiones de cada proceso unitario, se puede verificar la funcionalidad de cada uno de dichos procesos.

3.2.2 Procesos unitarios del sistema de tratamiento de la planta actual

A continuación, se presenta un diagrama de los procesos del sistema de tratamiento que tiene actualmente la PTAR, esto se puede ver en la Figura 21.

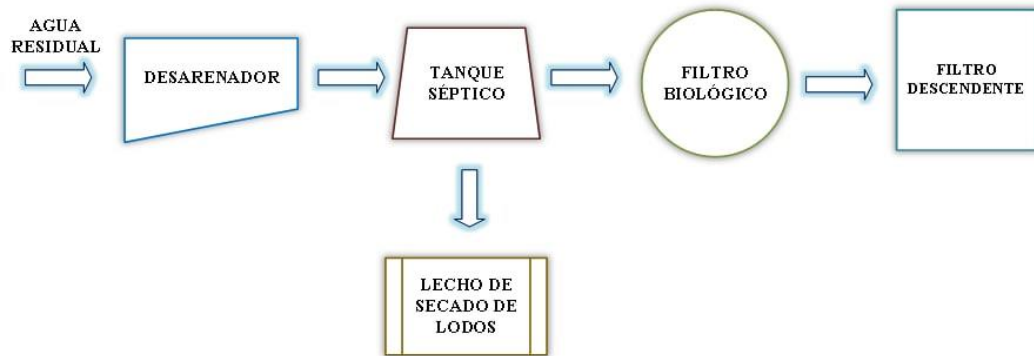


Figura 21 Tren de tratamiento de la PTAR actual

Fuente: El autor

3.2.3 Dimensiones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales

3.2.3.1 Desarenador

El desarenador es una estructura rectangular de hormigón armado que recoge el agua residual que proviene del sistema de alcantarillado por medio de una tubería con un diámetro de 20 cm. En el fondo se puede observar dos salidas de tubería, la primera a una caja de revisión que se dirige al desaguadero por medio de una válvula y la segunda al pozo séptico, pasando previamente por rejillas que retienen los sólidos más grandes, el desarenador posee las siguientes dimensiones:

Tabla 26 Dimensiones actuales del desarenador

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	1.90	m
Ancho	1.30	m
Altura	1.70	m
Espesor paredes	15	cm

Fuente: El autor

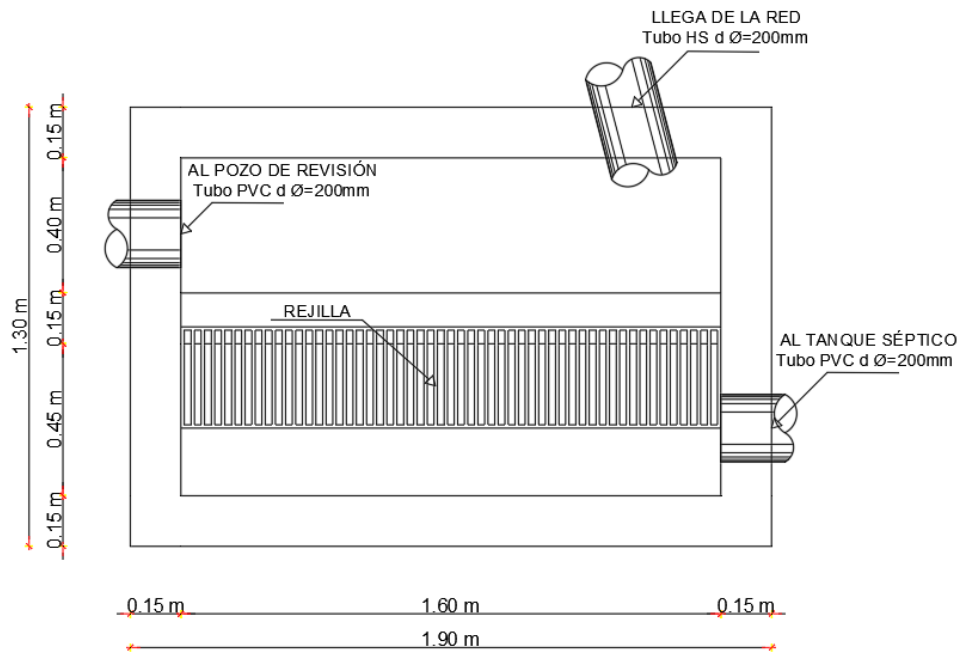


Figura 22 Vista superior del desarenador

Fuente: El autor

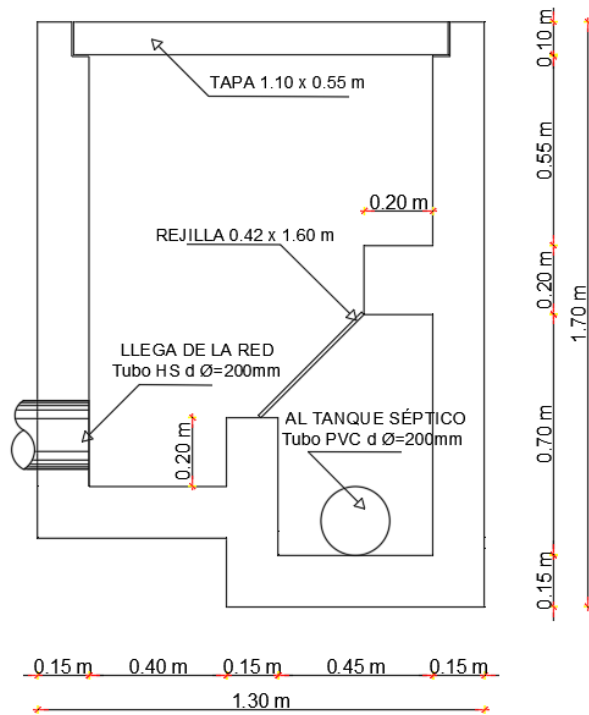


Figura 23 Vista de corte lateral del desarenador

Fuente: El autor

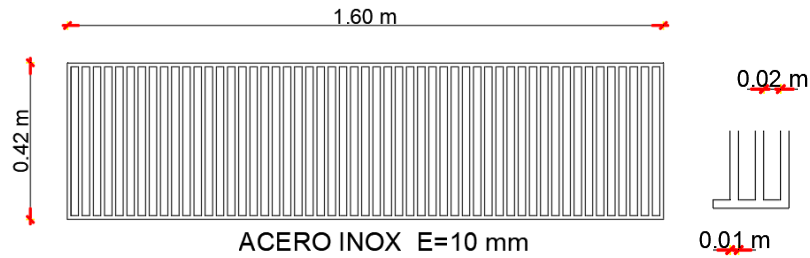


Figura 24 Detalle de la rejilla del desarenador

Fuente: El autor

3.2.3.2 Tanque séptico

El tanque séptico es una estructura rectangular de hormigón armado formado por dos fosas sépticas que a su vez están divididas por dos cámaras en serie en su parte interior de las cuales, cada fosa conecta a través de doce tuberías en la parte baja con un diámetro de 20 cm cada una y cada cámara por medio de una abertura de ventana en la parte media de la pared de aproximadamente 1.50 por 0.15 metros como se puede observar en la Figura 25. Recoge el agua residual que ha pasado previamente por el desarenador a través de dos tuberías de 20 cm de diámetro, y para el caso de la salida, posee dos tuberías que se dirigen al filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y tres tuberías que se depositan en el lecho de secado de lodos.

Tabla 27 Dimensiones actuales del tanque séptico

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	7.60	m
Ancho	5.80	m
Altura	2.95	m
Espesor paredes externas	25	cm
Espesor paredes internas	15	cm

Fuente: El autor

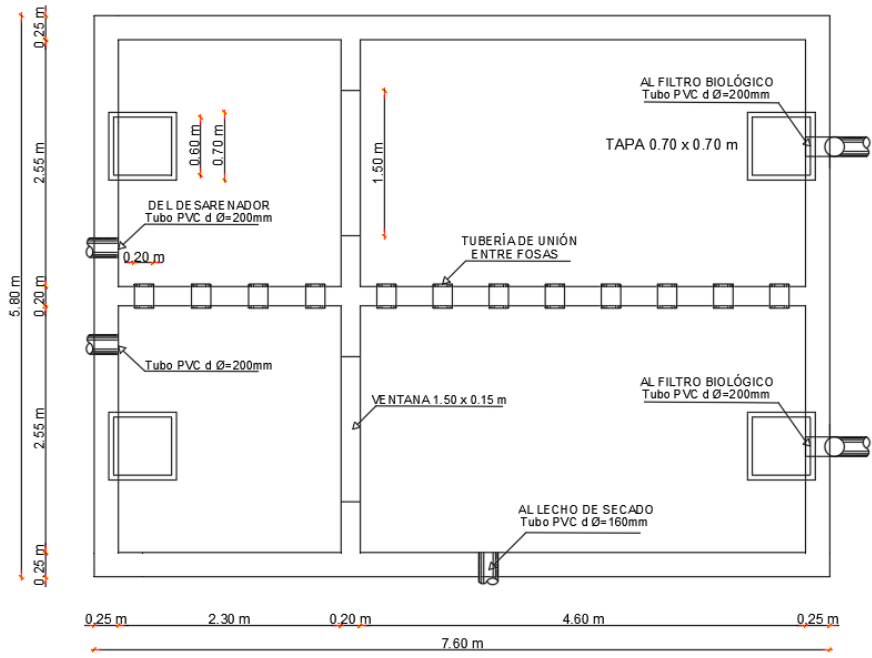


Figura 25 Vista superior del tanque séptico

Fuente: El autor

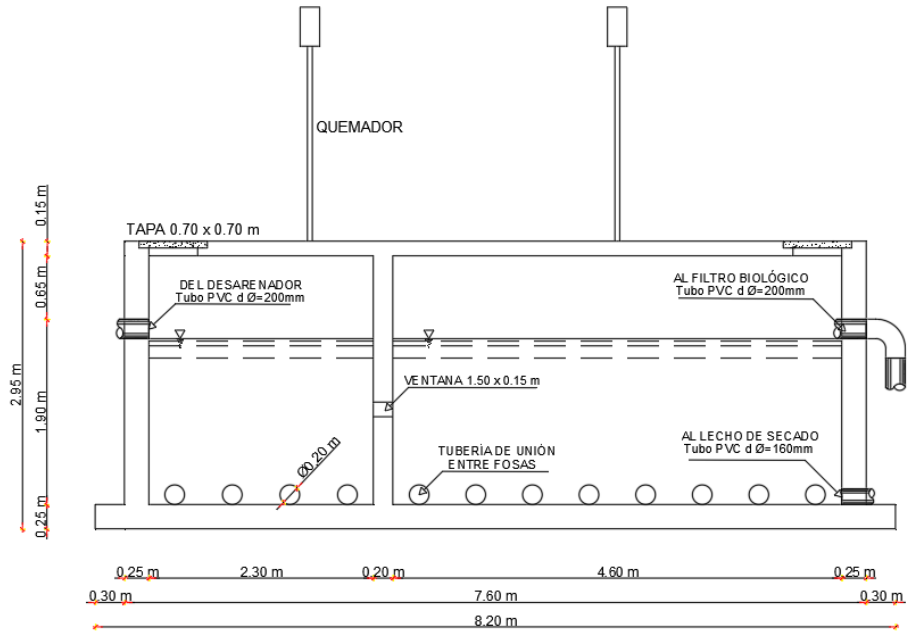


Figura 26 Vista de corte lateral del tanque séptico

Fuente: El autor

3.2.3.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Estructura de hormigón armado conocida también como filtro biológico, misma que recibe el agua que ha pasado por el tanque séptico por medio de dos tuberías de 20 cm de diámetro para realizar un proceso de filtración. En su interior se puede observar la grava que está actuando como medio filtrante. Posee dos tuberías de salida, la primera hacia el filtro descendente y la segunda a una caja de revisión que dirige posteriormente el agua al desaguadero.

Tabla 28 Dimensiones actuales del filtro biológico

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Diámetro	5.52	m
Altura	2.20	m
Borde libre	45	cm
Espesor paredes	10	cm

Fuente: El autor

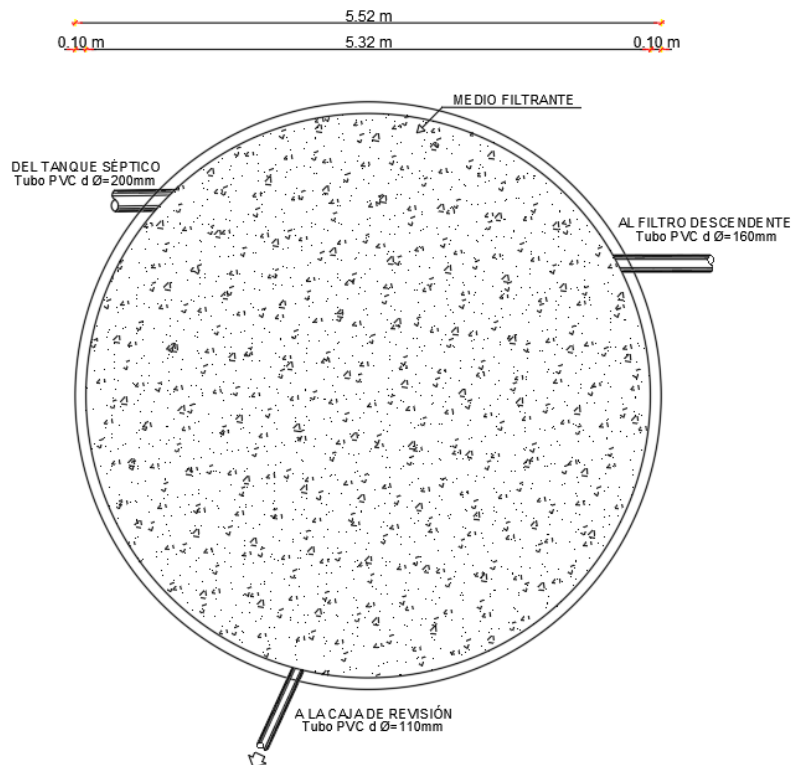


Figura 27 Vista superior del filtro biológico

Fuente: El autor

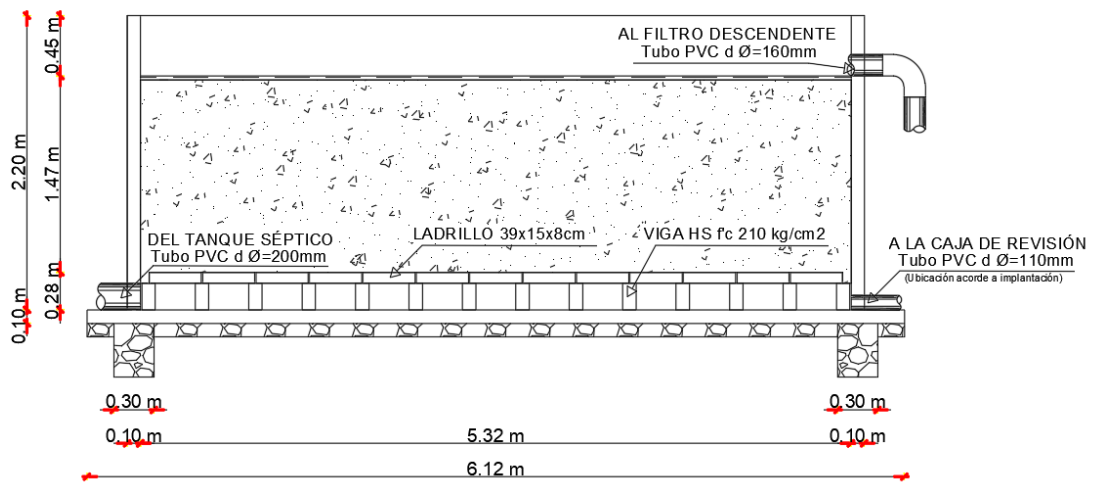


Figura 28 Vista de corte frontal del filtro biológico

Fuente: El autor

3.2.3.4 Filtro descendente

Estructura de hormigón armado que de igual forma que el anterior filtro cumple la función de realizar una filtración del agua, la misma que es recibida del filtro biológico por medio de una tubería de 16 cm y es enviada a la caja de revisión por una tubería de 20 cm que posteriormente será enviada a la quebrada.

Tabla 29 Dimensiones actuales del filtro descendente

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	5.40	m
Ancho	4.40	m
Altura	1.60	m
Espesor paredes	25	cm

Fuente: El autor

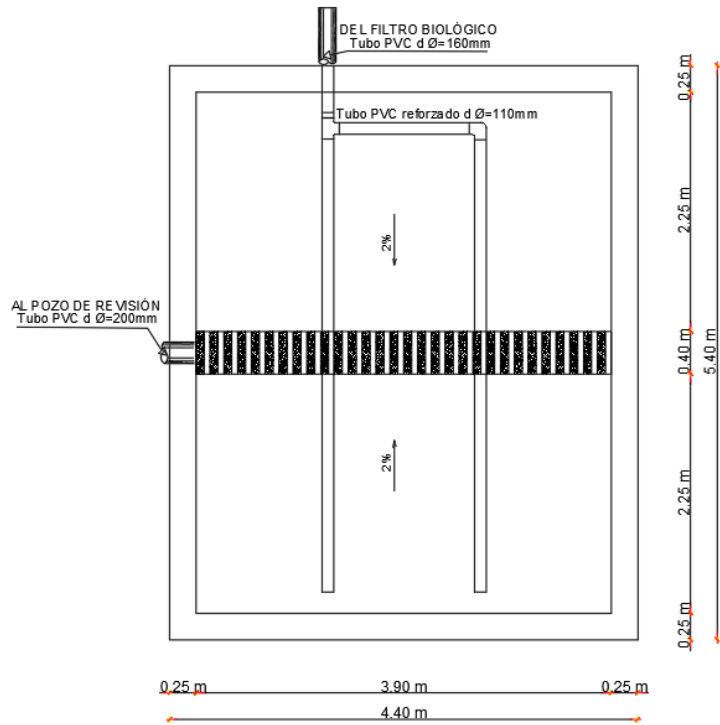


Figura 29 Vista en planta del filtro descendente

Fuente: El autor

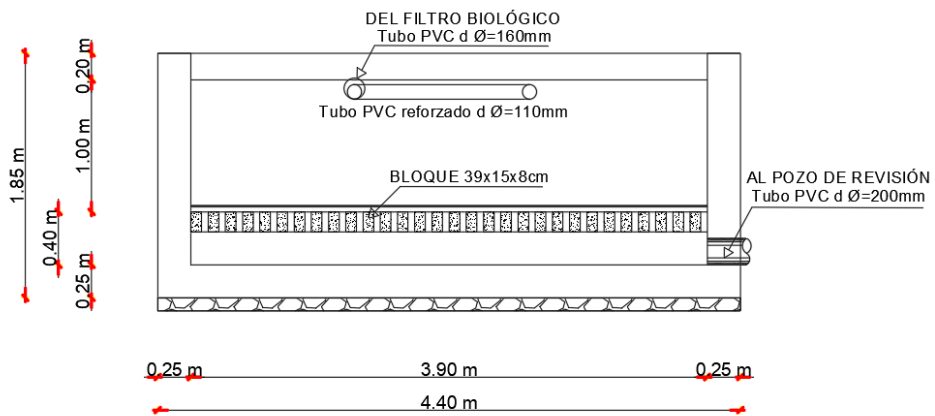


Figura 30 Vista de corte del filtro descendente

Fuente: El autor

3.2.3.5 Lecho de secado de lodos

Estructura rectangular de hormigón armado, que recoge los lodos provenientes del tanque séptico por medio de tres tuberías de 16 cm y los deja expuestos en su base para que por medio del sol estos se deshidraten, posee una pendiente de aproximadamente del 2% que permite que los lodos se acomoden y vayan ocupando todo el espacio disponible, al final se tiene una tubería de 20 cm de diámetro que recoge el agua restante.

Tabla 30 Dimensiones actuales del lecho de secado de lodos

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	7.80	m
Ancho	5.30	m
Altura	1.00	m
Espesor paredes	25	cm

Fuente: El autor

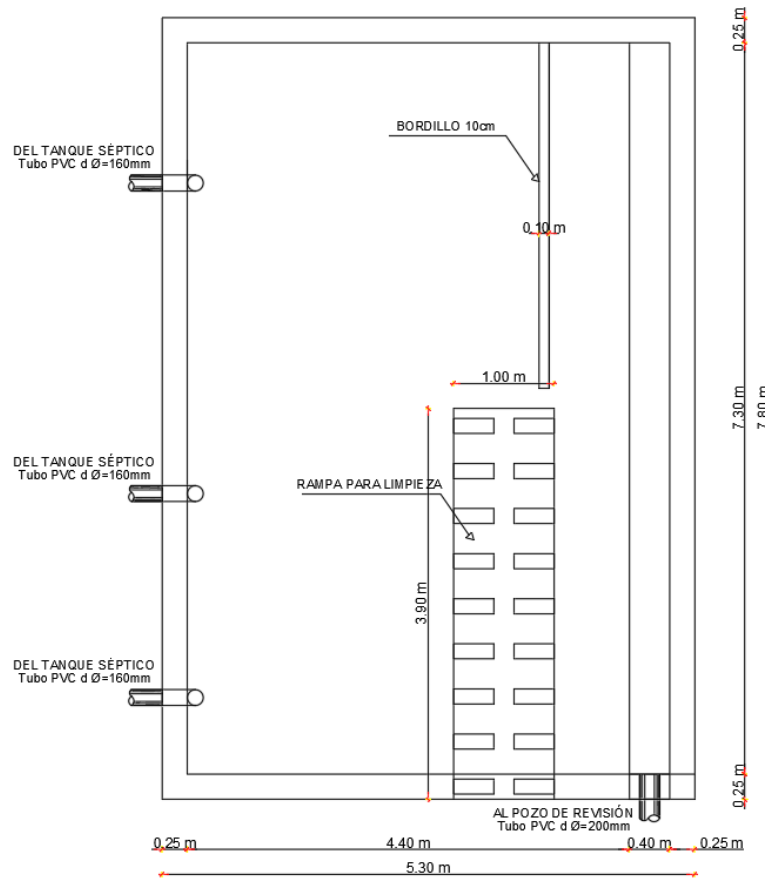


Figura 31 Vista superior del lecho o patio de secado de lodos

Fuente: El autor

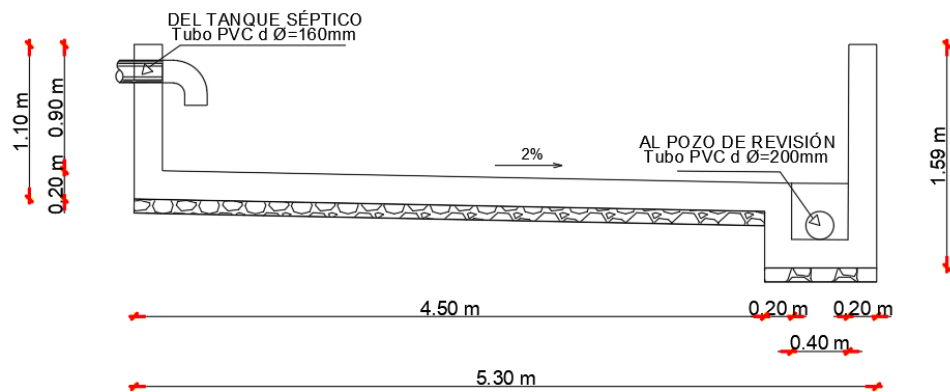


Figura 32 Vista de corte lateral del lecho o patio de secado de lodos

Fuente: El autor

3.2.4 Diagnóstico de funcionamiento teórico actual de la PTAR

Para realizar el diagnóstico de cada proceso unitario de la PTAR, se tomó los criterios de diseño que nos presentan las diferentes normas existentes de otros países, esto debido a que en Ecuador no se cuenta con manuales o normas específicas para el diseño de las diferentes obras hidráulicas de una PTAR, entre esas normas se tiene:

NORMA RAS 2000. – Es el reglamento técnico utilizado en el área de agua potable y saneamiento básico de la República de Colombia, esta norma nos presenta procedimientos generales para el diseño de diferentes obras hidráulicas encargadas del tratamiento de las aguas residuales como es el caso del desarenador y del tanque séptico.

NORMA CONAGUA 2015. - Comisión nacional del agua del país de México, esta norma nos presenta diferentes manuales de diseño de las PTAR, de los cuales se utilizó el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS) para el diseño del filtro anaeróbico ascendente.

MANUAL OPS. – Organización panamericana de la salud, manual que nos presenta guías de diseño y mantenimiento para una PTAR. Se utilizaron los criterios de esta norma para el diagnóstico del filtro descendente y del lecho de secado de lodos.

3.2.4.1 Determinación del caudal de diseño

Como se pudo observar en la Tabla 17 no se encontró un caudal de hora pico que se repita o se asemeje en el mismo intervalo de horas de cada uno de los días de la semana donde se realizó el estudio. También se pudo evidenciar que existieron dos caudales que no pertenecen a la tendencia general es decir son caudales atípicos, los mismos que son mayores a 1 lt/seg, uno tomado el día lunes en el intervalo de 16h00 a 17h00 y el otro tomado el día sábado en el mismo intervalo. Sin embargo, puesto que en el momento de realizar la toma de dichos caudales se encontraba lloviendo existe la posibilidad de tener un error y que el caudal tomado se haya mezclado con la lluvia. Por esta razón para tener un caudal máximo real y con ello utilizarlo para el diagnóstico de la PTAR como nos indica Metcalf & Eddy, se recurre al uso de la estadística para determinar un caudal promedio de todos los caudales tomados, la desviación típica y con ello el caudal máximo.

Por medio de la utilización del programa Excel y la Tabla 17, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 31 Determinación del caudal de diseño

Símbolo	Significado	Ecuación	Resultado
N	Número de muestra	$N = \sum \text{caudales}$ Ec. 1	63
\bar{x}	Valor promedio de todos los caudales tomados	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$ Ec. 2	0.52
σ	Desviación típica o estándar	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$ Ec. 3	0.25

Fuente: El autor

Determinación del caudal máximo horario

$$QMH = \bar{x} + 2 * \sigma \quad \text{Ec. 4}$$

$$QMH = 0.52 \text{ lt/seg} + 2 * 0.25 \text{ lt/seg}$$

$$QMH = 1.02 \text{ lt/seg}$$

Como se puede observar el caudal máximo horario de acuerdo a la toma de muestras y el uso de la estadística es de 1.02 lt/seg, eliminando así los caudales atípicos y cuyo valor más cercano al mismo según la Tabla 17 es el caudal de 0.95 lt/seg tomado el día lunes en el intervalo de 14h00 a 15h00 y el día viernes en el intervalo de 08h00 a 09h00. Por esta razón el caudal pico utilizado para determinar el caudal de diseño será de 0.95 lt/seg, multiplicado por un factor de seguridad del 10% para eliminar posibles errores.

DATOS

- Q_{MH} = Caudal máximo horario (lt/seg): 0.95
- f_s = Factor de seguridad (%): 10%

$$Q_d = Q_a * f_s \quad \text{Ec. 5}$$

$$Q_d = 0.95 \text{ lt/seg} * 1.1$$

$$Q_d = 1.05 \text{ lt/seg}$$

3.2.4.2 Diagnóstico de funcionamiento del desarenador

Para la comprobación de las dimensiones del desarenador, se optó por los criterios de diseño de la norma RAS 2000 en su título B.

DATOS

- Q_d = Caudal de diseño (lt/seg): 1.05
- p = Densidad del agua (gr/cm³): 1
- g = Aceleración de la gravedad (cm/seg²): 980
- T = Temperatura del agua (°C): 15
- H = Altura útil del desarenador (m): 0.20
- a = ancho útil del desarenador (m): 0.40
- l = longitud útil del desarenador (m): 1.60

Determinación de la densidad relativa de la arena (p_s)

Para determinar la densidad relativa de la arena se utilizó la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 856:2010, en donde se presenta el método a seguir para dicho cálculo. Cuya muestra fue tomada del desarenador y posteriormente trasladada al laboratorio respectivo para sus ensayos. En la Tabla 32 se muestra los resultados de dichos ensayos.

Tabla 32 Cálculo de la densidad relativa de la arena del agua residual

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	154.60
M3 = M1 + M2	Masa del picnómetro + arena seca	gr	204.10
M2 = M3 – M1	Masa de la arena seca	gr	49.50
M4 = M1 + M2 + M5	Masa del picnómetro + arena seca + agua	gr	759.80
M5	Peso del picnómetro + agua + arena sumergida	gr	741.11
M6 = M5 – M4	Masa de agua desalojada	gr	18.69
$p_s = M2/M6$	Densidad relativa de la arena	gr/cm ³	2.65

Fuente: El autor

Determinación del diámetro de partículas de la arena (d)

Para comprobar que el desarenador está funcionando de forma óptima, éste debe remover las partículas superiores o iguales a 0.2 mm del agua residual, por esta razón se ha tomado una muestra de la arena retenida en el fondo para que por medio de una granulometría se pueda conocer el tamaño de las diferentes partículas que componen la muestra.

Para realizar el análisis granulométrico de la muestra se utilizó la norma NTE INEN 696 y los límites que nos presenta la norma AASHTO T 87 – 70, con una muestra de 500 gr de arena retenida por el desarenador, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 33 Análisis granulométrico de la muestra de arena del desarenador

Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.76	0	0	0.00%	100.00%	96-100
#8	2.38	31.5	31.5	6.30%	93.70%	85-95
#16	1.19	74.9	106.4	21.28%	78.72%	65-80
#30	0.59	96.4	202.8	40.56%	59.44%	51-60
#50	0.297	64.5	267.3	53.46%	46.54%	45-50
#100	0.149	107.5	374.8	74.96%	25.04%	25-40
#200	0.075	58.7	433.5	86.70%	13.3%	10-20
BANDEJA		66.3	499.8	99.96%	0.04%	-

Fuente: El autor

Como se puede observar el desarenador está reteniendo en su mayor parte partículas iguales y superiores a 0.149 mm (0.2mm), por lo que se puede deducir que el desarenador está cumpliendo la función para la cual fue construida, además, si existiese partículas de mayor tamaño, estas igual se retendrían puesto que quedarían atrapadas en la rejilla. Sin embargo, es necesario realizar un diagnóstico para comprobar si las dimensiones del desarenador abastecen con el caudal de ingreso, para ello se deben realizar diferentes cálculos en donde se utilizará como uno de sus datos el diámetro mínimo de arena que es capaz de retener el desarenador es decir de 0.2 mm.

Cálculo de la viscosidad cinemática del agua (ν)

$$\nu = \frac{0.436}{T+23.3} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\nu = \frac{0.436}{15 + 23.3}$$

$$\nu = 0.011384$$

Cálculo de la velocidad de sedimentación (ν_s)

$$v_s = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu} \quad (\text{Ley de Stokes}) \quad \text{Ec. 7}$$

$$v_s = \frac{(2.65 - 1) \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) * (0.02\text{cm})^2 * 980\text{cm/seg}^2}{18 * 0.011384\text{cm}^2/\text{seg}}$$

$$v_s = 3.16 \text{ cm/seg}$$

La ecuación de Stokes se la puede utilizar siempre y cuando el número de Reynolds de la partícula sea inferior o igual a 1.0. Por lo tanto, se realiza la comprobación del número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_s * d}{\nu} \quad \text{Ec. 8}$$

$$Re = \frac{3.16 \text{ cm/seg} * 0.02\text{cm}}{0.011384 \text{ cm}^2/\text{seg}}$$

$$Re = 5.55$$

Como $5.55 > 1$, no se encuentra en el régimen laminar que corresponde a la zona de Stokes. Por lo tanto, se debe realizar un reajuste a la velocidad de sedimentación en el régimen de transición que corresponde a la zona de Allen.

Para ello se determina el coeficiente de arrastre C_D :

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad \text{Ec. 9}$$

$$C_D = \frac{24}{5.55} + \frac{3}{\sqrt{5.55}} + 0.34$$

$$C_D = 5.94$$

Finalmente, la velocidad de asentamiento se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (p_s - 1) * d} \quad \text{Ec. 10}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{980 \text{ cm/seg}^2}{5.94} * (2.65 - 1) * (0.02 \text{ cm})}$$

$$V_s = 2.69 \text{ cm/seg}$$

Para determinar el área del desarenador se debe multiplicar al caudal de ingreso por un coeficiente de seguridad, mismo que se obtiene a través de la curva de tratamiento según el método de ábaco de Hazen, donde se asumen un valor de eficiencia y un rendimiento esperado por el desarenador, el mismo que se representa con la letra “n”, estos parámetros se pueden apreciar en la Tabla 34.

Tabla 34 Rendimiento esperado

Valor de n	Rendimiento
n = 1	Muy pobre
n = 2	Pobre
n = 3	Bueno
n = 5	Bueno
n = 8	Muy bueno
n = ∞	optimo

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, G. Rivas, 1978

La norma RAS 2000 nos dice que la eficiencia para el desarenador no puede ser inferior al 80%, por lo que se asume una eficiencia del 90% con un valor de n = 5 que representa un buen comportamiento, esto de acuerdo a la tabla 31.

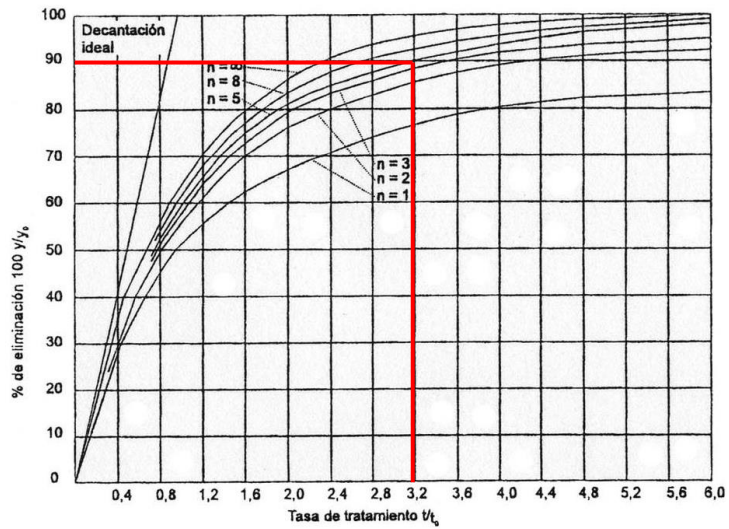


Figura 33 Curva de tratamiento - Método de ábaco de Hazen

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, G. Rivas, 1978

De acuerdo a la Figura 33 se obtiene un coeficiente de seguridad de 3.2.

$$v_s = \frac{Qd * coef.seguridad}{As} \quad \text{Ec. 11}$$

$$As = \frac{Qd * coef.seguridad}{v_s}$$

$$Qd = \frac{1.05 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{1000000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$Qd = 1050 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$As = \frac{1050 \text{ cm}^3/\text{seg} * 3.2}{2.69 \text{ cm}/\text{seg}}$$

$$As = 1249.07 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2}$$

$$As = 0.12 \text{ m}^2$$

Cálculo del área actual del desarenador

$$As = l * a \quad \text{Ec. 12}$$

$$As = 1.6 \text{ m} * 0.40 \text{ m}$$

$$As = 0.64 \text{ m}^2$$

Como se puede observar el área calculada es menor a la real, sin embargo, se debe comprobar los criterios de diseño que establece la norma RAS 2000.

- El largo debe ser como mínimo 4 veces el ancho,
- Se recomienda que la relación entre la longitud útil y la profundidad efectiva del desarenador para el almacenamiento de las partículas de arena sean de 10 a 1. [29]
- La velocidad de sedimentación debe ser mayor a la velocidad horizontal

El desarenador actualmente construido al tener una longitud efectiva de 1.60 m y un ancho de 0.40 m, cumple con el primer parámetro, ya que el largo es cuatro veces el ancho. Además, que al tener una profundidad efectiva de 0.20, se puede decir que está en una relación de longitud y profundidad efectiva de 8 a 1, muy cercano a lo recomendado.

Cálculo de la velocidad horizontal (v_h)

$$V_h = \frac{Qd}{A_{transversal}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$V_h = \frac{1050 \text{ cm}^3/\text{seg}}{(40 \text{ cm} * 160 \text{ cm})}$$

$$V_h = 0.16 \text{ cm}/\text{seg}$$

Comprobación de relación de velocidades

$$Vs > Vh$$

2.69 > 0.33 ∴ Cumple con el criterio de diseño.

Actualmente el desarenador está funcionando de forma óptima, ya que el área calculada obtuvo un resultado de 0.12 m², misma que es menor al área con la que está actualmente construido el desarenador, la cual es de 0.64 m², además cumple las recomendaciones impuestas por la norma RAS 2000.

3.2.4.3 Diagnóstico de funcionamiento del tanque séptico

Para el cálculo del tanque séptico se deben tomar las consideraciones que nos indica la norma RAS 2000 en su capítulo E.7 referido a la metodología de diseño.

La comunidad de Puñachizag según el Gobierno provincial del cantón posee alrededor de 376 familias, donde se asume que cada familia tiene un promedio de 4 contribuyentes o habitantes, por lo que se tiene una población aproximada de 1504 habitantes. Además, cada habitante tiene una dotación de agua potable de 75 lt/hab*día en donde el 70% del mismo ingresa al sistema de alcantarillado.

DATOS

- N_c = número de contribuyentes (hab): 1504
- D = Dotación de agua potable (lt/hab*día): 75
- l = largo útil del tanque séptico (m): 7.10
- a = ancho útil del tanque séptico (m): 5.30
- h = altura útil del tanque séptico (m): 2.55

Determinación de la contribución de aguas residuales por contribuyente (C)

Como se mencionó anteriormente el agua residual es el resultado del uso que se le da al agua potable en donde el 70% es enviado a la red de alcantarillado, por lo que este valor depende de la dotación de agua que posee cada persona para su uso diario.

$$C = D * 70\% \quad \text{Ec. 14}$$

$$C = 75 \frac{lt}{hab * día} * 70\%$$

$$C = 52.50 \frac{lt}{hab * día}$$

Determinación del tiempo de retención del tanque séptico

De acuerdo a la norma RAS 2000, el tiempo de retención está relacionado con la contribución diaria de aguas residuales de todos los habitantes (L).

$$L = C * N\# \text{ de habitantes} \quad \text{Ec. 15}$$

$$L = 52.50 \frac{lt}{hab * día} * 1504 \text{ hab}$$

$$L = 78960 \frac{lt}{día}$$

Tabla 35 Tiempo de retención de acuerdo a la contribución de agua residual

Contribución diaria (L)	Tiempo de retención (T)	
	Días	Horas
Hasta 1,500	1.00	24
De 1,501 a 3,000	0.92	22
De 3,000 a 4,500	0.83	20
4,501 a 6,000	0.75	18
6,001 a 7,500	0.67	16
7,501 a 9,000	0.58	14
Más de 9,000	0.50	12

Fuente: Tabla E.7.2 Título E RAS 2000

Como se puede observar en la tabla 32 al tener una contribución diaria de 78960 lt/día se tiene un tiempo de retención (T) de 0.50 días o 12 horas puesto que es mayor a 9.000 como se indica en la tabla 32.

Determinación de la tasa de acumulación de lodos digeridos (K)

Según la norma RAS 2000 el valor de la tasa de acumulación de lodos digeridos se asume de acuerdo a la temperatura del ambiente y el intervalo de limpieza. El cantón Quero posee una temperatura promedio de 15 °C, también se conoce que el intervalo mínimo de limpieza de un tanque séptico es de un año por lo que se asume dicho valor como intervalo para el análisis respectivo.

Tabla 36 Tasa de acumulación de acuerdo al intervalo de limpieza

Intervalo de limpieza (años)	Valores de K por intervalo temperatura ambiente (t) en °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t ≥ 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fuente: Tabla E.7.3 Título E RAS 2000

De acuerdo a los criterios de la norma RAS 2000 de la Tabla 36 se tiene un valor de tasa de acumulación de lodos digeridos (K) de 65

Cálculo del volumen útil del tanque séptico

$$V_u = 1000 + N_c * (C * T + K * L_f) \quad \text{Ec. 16}$$

L_f = lodo fresco que puede generar una persona por día (lt/día), según la norma RAS 2000 generalmente es 1 lt/hab.

$$V_u = 1000 + 1504 \text{ hab} * \left(52.50 \frac{\text{lt}}{\text{hab} * \text{día}} * 0.50 \text{ días} + 65 * 1 \frac{\text{lt}}{\text{hab}} \right)$$

$$V_u = 138240 \text{ lt}$$

$$V_u = 138.24 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen útil actual de la fosa séptica

$$V = l * a * h \quad \text{Ec. 17}$$

$$V = 7.10 \text{ m} * 5.30 \text{ m} * 2.55 \text{ m}$$

$$V = 95.96 \text{ m}^3$$

Como se puede observar las actuales dimensiones de la fosa séptica no abastecen para la actual demanda, ya que el volumen calculado es menor en comparación al volumen con el que está construido el tanque séptico. Por lo tanto, se debe realizar un rediseño del mismo con una ampliación de dimensiones.

3.2.4.4 Diagnóstico de funcionamiento del filtro anaerobio ascendente

Para realizar el diagnóstico del filtro se sigue los parámetros que nos facilita la norma CONAGUA 2015 en el manual de filtros anaerobios de flujo ascendente, donde de acuerdo a los ensayos del agua residual de ingreso se obtuvo un valor de DBO5 de 448 mg DBO/l, valor necesario para la presente evaluación.

Según el manual CONAGUA el diseño del filtro que trabaja con aguas residuales domesticas es regido por el tiempo de residencia hidráulica (TRH) cuyo rango debe estar entre 3 a 10 horas.

DATOS

- Qd = caudal de diseño (lt/seg): 1.05
- H = altura total del filtro (m): 2.20
- b = longitud del borde libre (m): 0.45
- d = longitud del bajo dren (m): 0.28
- D = diámetro del filtro (m): 5.32
- hm = altura del medio filtrante (m): 1.47
- So = la DBO del afluente (kgDBO/m³): 0.448

Cálculo del volumen del medio filtrante (Vmf)

$$V_{mf} = h_m * A \quad \text{Ec. 18}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad A = \frac{\pi * (5.32 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 22.23 \text{ m}^2$$

$$V_{mf} = 1.47 \text{ m} * 22.23 \text{ m}^2$$

$$V_{mf} = 32.68 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen total (V_t)

$$V_t = H * A \quad \text{Ec. 19}$$

$$V_t = 2.20 \text{ m} * 22.23 \text{ m}^2$$

$$V_t = 48.91 \text{ m}^3$$

Cálculo de la carga orgánica volumétrica del medio filtrante COV_{mf}

$$COV_{mf} = \frac{Q_d * S_o}{V_{mf}} \quad \text{Ec. 20}$$

$$Q_d = \frac{1.05 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}}$$

$$Q_d = 90.72 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$COV_{mf} = \frac{90.72 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.448 \text{ kg DBO}/\text{m}^3}{32.68 \text{ m}^3}$$

$$COV_{mf} = 1.24 \text{ kg DBO m}^3/\text{día}$$

Cálculo de la carga orgánica volumétrica COV

$$COV = \frac{Q_d * S_o}{V_t} \quad \text{Ec. 21}$$

$$COV = \frac{90.72 \frac{m^3}{día} * 0.448 \text{ kg DBO}/m^3}{48.91 m^3}$$

$$COV = 0.83 \text{ kg DBO } m^3/día$$

Cálculo del tiempo real de residencia hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{V_{mf}}{Q_d} \quad \text{Ec. 22}$$

$$TRH = \frac{32.68 m^3}{90.72 m^3/día}$$

$$TRH = 0.36 \text{ días} * \frac{24 h}{1 día}$$

$$TRH = 8.65 h$$

Cálculo de la eficiencia esperada (E)

$$E = 100[1 - 0.87(TRH)^{-0.5}] \quad \text{Ec. 23}$$

$$E = 100[1 - 0.87(8.65)^{-0.5}]$$

$$E = 70.42 \%$$

Cálculo de la carga hidráulica superficial (CHS)

$$CHS = \frac{Q_d}{A} \quad \text{Ec. 24}$$

$$CHS = \frac{90.72 m^3/día}{22.23 m^2}$$

$$CHS = 4.08 m^2$$

La carga hidráulica volumétrica según el manual CONAGUA es el volumen del agua que se aplica por unidad de superficie del medio filtrante. Este valor debe estar en el rango de 6 a 15, sin embargo, como la carga hidráulica superficial depende del caudal se puede observar que este aún no llega al caudal con el que se diseñó el filtro.

Como se puede observar el tiempo de residencia hidráulica cumple con el rango que establece el manual CONAGUA por lo que se puede decir que el filtro anaerobio ascendente se encuentra funcionando de forma óptima con un 70.42 % de su eficiencia, esto se refleja en los resultados de los ensayos del agua residual donde se puede ver que remueve una gran parte de contaminantes.

3.2.4.5 Diagnóstico de funcionamiento del filtro descendente

Para el diagnóstico del filtro descendente, se utilizan los criterios de diseño del manual OPS/CEPIS/06, el mismo que nos recomienda que debe haber una velocidad de filtración entre el rango de 0.1 y 0.2 m/h, valor que depende de la contaminación del agua (a mayor contaminación menor velocidad), se optó por un valor de 0.1 m/h debido a que el agua contaminada ya fue previamente filtrada por el filtro biológico. También el manual OPS recomienda una altura de agua sobrenadante de 1.0 a 1.5 m con un borde libre que puede ser de 0.2 o 0.3 m. Con estos criterios se tiene los siguientes datos

DATOS:

- Qd = Caudal de diseño (lt/seg): 1.05
- H = Altura útil del filtro descendente (m): 1.20
- a = ancho útil del filtro descendente (m): 3.90
- l = longitud útil del filtro descendente (m): 4.90
- vf = velocidad de filtración (m/h): 0.1
- N = numero de unidades de filtros existentes: 2

Cálculo del área teórica superficial del filtro descendente (Ast)

$$Ast = \frac{Qd}{N * vf} \quad \text{Ec. 25}$$

$$Qd = \frac{1.05 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}}$$

$$Qd = 3.78 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Ast = \frac{3.78 \text{ m}^3/\text{h}}{2 * 0.1 \text{ m}/\text{h}}$$

$$Ast = 18.9 \text{ m}^2$$

Cálculo del área real superficial del filtro descendente (A_s)

$$A_s = a * l \quad \text{Ec. 26}$$

$$A_s = 3.90 * 4.90$$

$$A_s = 19.11 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad de filtración real del filtro descendente (VR)

$$VR = \frac{Qd}{2 * l * b} \quad \text{Ec. 27}$$

$$VR = \frac{3.78 \text{ m}^3/\text{h}}{2 * 3.90 \text{ m} * 4.90 \text{ m}}$$

$VR = 0.10 \text{ m}/\text{h} \rightarrow$ la velocidad de filtración se encuentra en el rango

Como se puede observar el filtro descendente cumple con los criterios de diseño como la velocidad de filtración y también con la altura sobrenadante recomendada por el manual OPS, además, el área calculada es menor a la real, por lo tanto, el filtro está funcionando de forma óptima.

3.2.4.6 Diagnóstico de funcionamiento del lecho de secado de lodos

Los cálculos para el diagnóstico del patio de secado de lodos, se basan en los criterios de diseño que nos presenta el Manual OPS 2005. Además, de acuerdo a estudios realizados por el manual nos presentan los siguientes datos que se pueden asumir: la densidad de los lodos que se producen en el tanque séptico con un valor de 1.04 kg/l y el porcentaje de sólidos que se encuentran contenidos en el lodo, los mismos que varían entre 8 a 12%.

DATOS

- Nc = número de contribuyentes (hab): 1504
- SS = sólidos en suspensión en el agua residual (mg/l): 645
- Qd = caudal de diseño (lt/seg): 1.05
- P_{lodos} = densidad de lodos (kg/lt) 1.04
- % *solidos* = porcentaje de solidos (8-12%) 12
- l = largo útil de un patio de secado de lodos (m): 7.3
- a = ancho útil del lecho de secado de lodos (m): 3.50
- H = profundidad de aplicación (m): 0.40

Determinación del tiempo de digestión (días)

Según el manual OPS, el tiempo de digestión de los lodos depende de la temperatura, el cantón Quero al tener una temperatura promedio de 15°C se tiene lo siguiente.

Tabla 37 Tiempo de digestión de los lodos

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: Manual OPS _ Guía para el diseño de tanques sépticos_ Tabla 2

Cálculo de la carga de sólidos que ingresan al sedimentador (C)

$$C = Qd * SS * 0.0864 \text{ kg SS/día}$$

Ec. 28

$$C = 1.05 * 645 * 0.0864 \text{ kg SS/día}$$

$$C = 58.51 \text{ kg SS/día}$$

Cálculo de la masa de sólidos que conforman los lodos (M_{cd})

$$\begin{aligned}M_{cd} &= (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C) && \text{Ec. 29} \\M_{cd} &= (0.5 * 0.7 * 0.5 * 58.51) + (0.5 * 0.3 * 58.51) \\M_{cd} &= 19.02 \text{ kg} \frac{SS}{\text{día}}\end{aligned}$$

Cálculo del volumen diario de lodos digeridos (V_{sd})

$$\begin{aligned}V_{sd} &= \frac{M_{cd}}{P_{lodos} * \left(\frac{\% \text{ de sólidos}}{1000}\right)} && \text{Ec. 30} \\V_{sd} &= \frac{19.02 \text{ kg/día}}{1.04 \text{ kg/lit} * \left(\frac{12}{100}\right)} \\V_{sd} &= 152.40 \text{ lt/día}\end{aligned}$$

Cálculo del volumen de lodos a extraerse del tanque (V_{el})

$$\begin{aligned}V_{el} &= \frac{V_{sd} * Td}{1000} && \text{Ec. 31} \\V_{el} &= \frac{152.40 \frac{\text{lt}}{\text{día}} * 55 \text{ día}}{1000} \\V_{el} &= 8.38 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Cálculo del área teórica del lecho de secado de lodos (At)

$$\begin{aligned}At &= \frac{V_{el}}{H} && \text{Ec. 32} \\At &= \frac{8.38 \text{ m}^3}{0.4 \text{ m}} \\At &= 20.95 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Cálculo del área real del lecho de secado de lodos (A)

$$A = a * l \quad \text{Ec. 33}$$

$$A = 3.50 \text{ m} * 7.30 \text{ m}$$

$$A = 25.55 \text{ m}^2$$

Como se puede observar el área teórica es menor al área real por esta razón se puede decir que el lecho de secado de lodos está funcionando de forma óptima.

3.3 Verificación de hipótesis

La PTAR de la comunidad de Puñachizag, recibe agua residual que debe ser tratada para eliminar la mayor parte de contaminantes por medio de sus procesos unitarios, sin embargo, se pudo comprobar que algunos de esos procesos se encuentran actualmente sub dimensionados, por lo tanto, no están cumpliendo su cometido de forma óptima. Esto se demuestra también en el análisis de caracterización del agua residual, donde el parámetro aceites y grasas no cumple con los límites de descarga establecidos por el TULSMA 2015 como se puede ver en la Tabla 23, por lo que se puede concluir que la PTAR no se encuentra funcionando de forma óptima.

3.4 Propuesta de mejora

En base a los resultados obtenidos con la caracterización del agua residual y debido a que el parámetro aceites y grasas esta fuera de los límites máximos permitidos por el TULSMA 2015 se va a implementar como tratamiento preliminar una trampa de grasas con el fin de disminuir dicho parámetro. Además, se va a realizar un rediseño con aquellos procesos unitarios cuyas dimensiones no cumplen con las normas respectivas (tanque séptico) utilizando un caudal de diseño y una población futura, con el fin de asegurar la vida útil de los mismos. Implementando los procesos nuevos se tiene un nuevo tren de tratamiento mismo que se detalla en la Figura 34 .

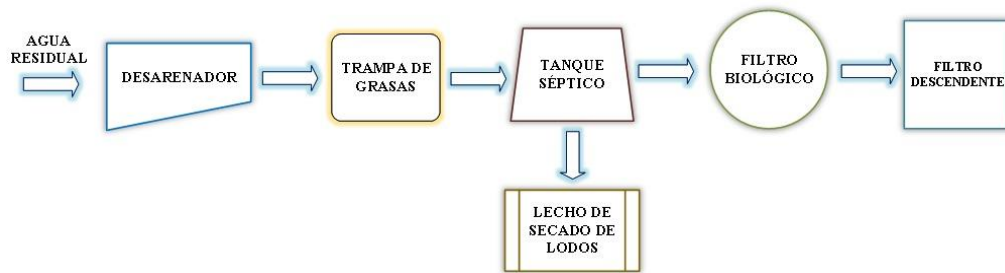


Figura 34 Nuevo tren de tratamiento de la propuesta para la PTAR

Fuente: El autor

3.4.1 Diseño de nuevos procesos de tratamiento en la PTAR

Para el diseño de la propuesta se realiza el cálculo de un caudal de diseño basado en una población futura, para asegurar que los nuevos procesos de tratamiento tengan un tiempo relativamente largo de vida útil. El periodo de diseño debe asegurar la posibilidad de construcción por etapas de los componentes sanitarios es decir que se debe considerar la posibilidad de ampliaciones en periodos de diseño cortos, para este estudio se ha tomado un periodo de diseño de 20 años, tiempo en que las comunidades y las instituciones públicas planificarán la consecución de los recursos necesarios para el financiamiento del proyecto.

3.4.1.1 Determinación de la población futura

Según el código ecuatoriano de la construcción de obras sanitarias CO 10.07-601 en su norma para realizar el estudio o diseño para la disposición de aguas residuales en poblaciones mayores a 1000 habitantes en su numeral 4.1.3.1, manifiesta que para el cálculo de la población futura se debe utilizar por lo menos tres métodos conocidos de proyección (aritmética, geométrica y exponencial) para con ello realizar una comparación que orienten al proyectista en la selección de uno de los métodos para el respectivo cálculo.

Al no tener un registro censal de datos la comunidad de Puñachizag, se utilizan los datos generales del cantón Quero, para determinar la tasa de crecimiento (r).

Tabla 38 Población censal del cantón Quero

AÑO CENSAL	POBLACIÓN (Habitantes)		
	Mujeres	Hombres	Total
1990	7986	8011	15997
2001	9194	8993	18187
2010	9716	9489	19205

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC 2010)

Para determinar la tasa de crecimiento se utilizó los tres métodos conocidos (aritmético, geométrico y exponencial). A continuación, se detalla tanto la tabla de crecimiento para cada método como su diagrama respectivo.

Tabla 39 Tasa de crecimiento poblacional - método aritmético

MÉTODO ARITMÉTICO			
AÑO CENSAL	POBLACIÓN	t	r
1990	15997		
		11	1,24%
2001	18187		
		9	0,62%
2010	19205		
PROMEDIO			0,93%

Fuente: El autor

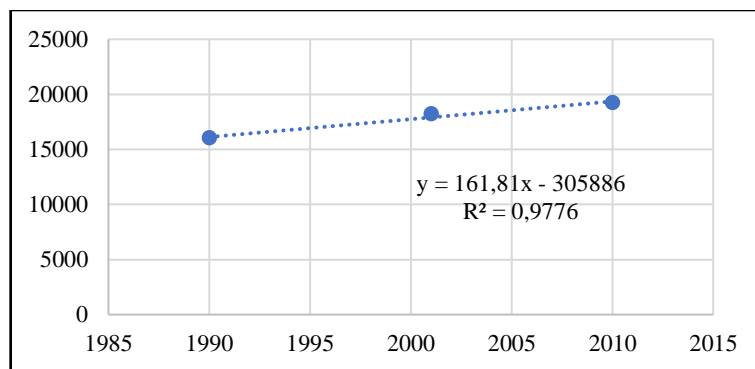


Figura 35 Línea de tendencia con el método aritmético

Fuente: El autor

Tabla 40 Tasa de crecimiento poblacional - método geométrico

MÉTODO GEOMÉTRICO			
AÑO CENSAL	POBLACIÓN	t	r
1990	15997		
		11	1,17%
2001	18187		
		9	0,61%
2010	19205		
		PROMEDIO	0,89%

Fuente: El autor

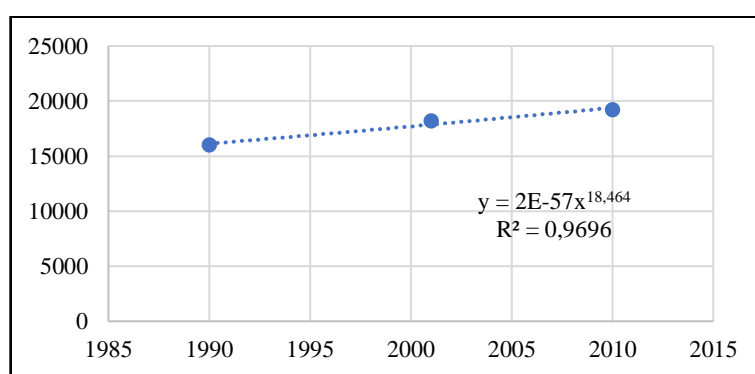


Figura 36 Línea de tendencia con el método geométrico

Fuente: El autor

Tabla 41 Tasa de crecimiento poblacional - método exponencial

MÉTODO EXPONENCIAL			
AÑO CENSAL	POBLACIÓN	t	r
1990	15997		
		11	1,16%
2001	18187		
		9	0,61%
2010	19205		
		PROMEDIO	0,89%

Fuente: El autor

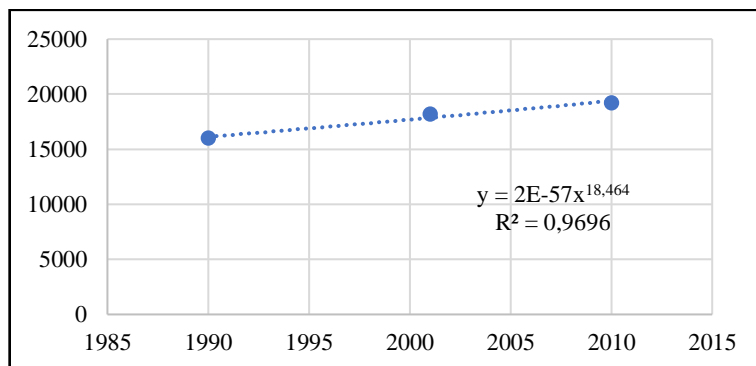


Figura 37 Línea de tendencia con el método exponencial

Fuente: El autor

Como se puede observar en las figuras anteriores la línea de tendencia entre la población y los años censales tienden a ser lineales, además que el valor de R^2 es mayor utilizando el método aritmético siendo de 0.98, por esta razón es el valor que más se ajusta al modelo de datos ingresados. Para el cálculo de la población futura se optó por el método aritmético por las razones antes nombradas. Además, se pudo observar que el valor de la tasa de crecimiento no supera el 1%, por lo tanto, se toma en consideración los criterios que establece la norma CPE INEN 5.

Tabla 42 Tasas de crecimiento poblacional

REGIÓN GEOMÉTRICA	r (%)
Sierra	1.0
Costa, Oriente y Galápagos	1.5

Fuente: Norma CPE INEN 5. Parte 9.2:1997_rural

Como se mencionó anteriormente en el punto 3.2.4.3 según el Gobierno provincial del cantón Quero de acuerdo a datos actuales del Ing. Gabriel Velastegui jefe de agua potable y alcantarillado la comunidad de Puñachizag posee alrededor de 376 familias y cada familia tiene un promedio de 4 habitantes, por lo que se tiene una población actual aproximada de 1504 habitantes en el año 2021.

Con las consideraciones tomadas anteriormente se tienen los siguientes datos:

DATOS

- P_a = población actual 2021 (hab): 1504
- r = tasa de crecimiento poblacional (%): 1
- n = periodo de diseño (años): 20

Cálculo de la población futura (P_f)

Se utiliza el método aritmético con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} P_f &= P_a * (1 + r(n)) && \text{Ec. 34} \\ P_f &= 1504 \text{ hab} * (1 + 1\% * (20)) \\ P_f &= 1804.80 \text{ hab} \rightarrow 1805 \text{ hab} \end{aligned}$$

3.4.1.2 Determinación del caudal de diseño sanitario

Como se pudo conocer por parte del Ing. Gabriel Velastegui, jefe de agua potable y alcantarillado del cantón Quero la dotación que posee la comunidad de Puñachizag es de 75 lt/hab*día, por esta razón este dato será utilizado para el cálculo del caudal futuro.

$$\begin{aligned} Q_{md} &= \frac{\text{Dotación} * N\# \text{ de habitantes futuro}}{86400 \text{ s}} && \text{Ec. 35} \\ Q_{md} &= \frac{75 \frac{\text{lt}}{\text{hab} * \text{día}} * 1805 \text{ hab}}{86400 \text{ seg/día}} \\ Q_{md} &= 1.57 \text{ lt/seg} \end{aligned}$$

El consumo de agua potable utilizado en diferentes actividades como domésticas, comerciales o institucionales, sin contar con el valor de pérdidas se conoce como caudal medio sanitario (Qmds), mismo que depende de un coeficiente de retorno (C) que varía

entre 60 y 80%. Para este proceso de cálculo asumiremos un valor promedio de 70%. Esto de acuerdo a la norma RAS2000 en su título D.

$$\begin{aligned} Q_{m d s} &= C * Q_{m d} && \text{Ec. 36} \\ Q_{m d s} &= 0.70 * 1.57 \text{ lt/s} \\ Q_{m d s} &= 1.10 \text{ lt/s} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal máximo diario (Q_{MD})

Para determinar el caudal máximo diario es necesario multiplicar el caudal medio sanitario por un coeficiente de mayoración que varía entre 1.3 a 1.5, por esta razón se asumirá un valor promedio de 1.4.

$$\begin{aligned} Q_{MD} &= F * Q_{m d s} && \text{Ec. 37} \\ Q_{MD} &= 1.4 * 1.10 \text{ lt/seg} \\ Q_{MD} &= 1.54 \text{ lt/seg} \end{aligned}$$

Según el código ecuatoriano de la construcción de obras sanitarias CO 10.07-601 nombrado anteriormente, nos dice que el caudal de diseño de una planta de tratamiento es el caudal máximo diario más un 10% del mismo.

El 10% representa un factor de seguridad el mismo que engloba el caudal de infiltración que puede existir en las tuberías y el caudal de conexiones erradas.

$$\begin{aligned} Q_d &= F_s * Q_{MD} && \text{Ec. 38} \\ Q_d &= 1.10 * 1.54 \text{ lt/seg} \\ Q_d &= 1.69 \text{ lt/seg} \end{aligned}$$

3.4.1.3 Diseño de la trampa de grasas propuesta

Criterios de diseño la trampa de grasas

Para realizar el diseño de la trampa de grasas propuesta se consideró los criterios que nos presenta la norma RAS 2000 en la sección 2 del título E de la misma en el tema de tratamiento de aguas residuales. Estos criterios se muestran en la Tabla 43.

Tabla 43 Criterios de diseño para una trampa de grasas

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor recomendado	Valor asumido
Área por cada litro por segundo	a	m ²	0.25	0.25
Relación ancho: largo	-	-	1:4 – 1:18	-
Velocidad ascendente mínima	V_a	m/s	0.004	0.004
Tiempo de retención	T_r	mín	2.5 - 3	3
Profundidad mínima del tanque	P	m	> 0.80	0.8
Borde libre	Bl	m	> 0.20	0.30

Fuente: RAS 2000, Título E y Manual OPS/CEPIS 2003

Cálculo del volumen de la trampa de grasas (V)

$$V = Qd * TRH \quad \text{Ec. 39}$$

$$Qd = 1.69 \frac{lt}{seg} * \frac{60 seg}{1 mín} = 101.40 \text{ lt/mín}$$

$$V = 101.40 \frac{lt}{mín} * 3 \text{ mín}$$

$$V = 304.20 \text{ lt}$$

$$V = 0.30 \text{ m}^3$$

Cálculo del área de la trampa de grasas (A)

$$A = \frac{Qd}{V_a} \quad \text{Ec. 40}$$

$$Qd = 1.69 \frac{lt}{seg} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} = 0.00169 \text{ m}^3/seg$$

$$A = \frac{0.00169 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.004 \text{ m}/\text{seg}}$$

$$A = 0.42 \text{ m}^2$$

Cálculo del largo de la trampa de grasas (L)

Se asume una relación de ancho: largo de 1:4

$$A = L * B \quad \text{Ec. 41}$$

$$B = \frac{L}{4}$$

$$A = \frac{L}{4} * L$$

$$4 * A = L^2$$

$$L = \sqrt{4 * A}$$

$$L = \sqrt{4 * 0.42 \text{ m}^2}$$

$$L = 1.30 \text{ m}$$

Cálculo del ancho de la trampa de grasas (B)

$$B = \frac{L}{4} \quad \text{Ec. 42}$$

$$B = \frac{1.30 \text{ m}}{4}$$

$$B = 0.33 \text{ m}$$

Cálculo de la altura de la trampa de grasas (H)

$$H = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. 43}$$

$$H = \frac{0.30 \text{ m}^3}{0.42 \text{ m}^2}$$

$$H = 0.71 \text{ m}$$

Puesto que la altura es menor a la recomendada se asume una altura de 0.80 m.

Cálculo de la altura total de la trampa de grasas (H_t)

$$H_t = H + Bl \quad \text{Ec. 44}$$

$$H_t = 0.80 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$H_t = 1.10 \text{ m}$$

Tabla 44 Dimensiones de la trampa de grasas de la propuesta

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	1.30	m
Ancho	0.35	m
Altura	1.10	m
Borde libre	0.30	m

Fuente: El autor

Para facilitar la limpieza de la trampa de grasas se optó por un ancho en donde el operador pueda moverse sin dificultades, es decir de 0.90 m, además se dividió la longitud en dos comportamientos con el fin de asegurar una mayor remoción de aceites y grasas como se puede ver en el anexo 3 planos.

3.4.2 Rediseño de los procesos de tratamiento sub dimensionados en la PTAR

3.4.2.1 Diseño del tanque séptico propuesto

Para el rediseño del tanque séptico se utilizó el cálculo realizado en la sección 3.2.4.3, siguiendo la norma RAS 2000 para su dimensionamiento respectivo.

DATOS

- Nc = número de contribuyentes (hab): 1805
- D = Dotación de agua potable (lt/hab*día): 75

Determinación de la contribución de aguas residuales por contribuyente (C)

Como se mencionó anteriormente el agua residual es el resultado del uso que se le da al agua potable en donde el 70% es enviado a la red de alcantarillado, por lo que este valor depende de la dotación de agua que posee cada persona para su uso diario.

$$C = D * 70\% \quad \text{Ec. 45}$$

$$C = 75 \frac{lt}{hab * día} * 70\%$$

$$C = 52.50 \frac{lt}{hab * día}$$

Determinación del tiempo de retención del tanque séptico

De acuerdo a la norma RAS 2000, el tiempo de retención está relacionado con la contribución diaria de aguas residuales de todos los habitantes (L).

$$L = C * N\# \text{ de habitantes} \quad \text{Ec. 46}$$

$$L = 52.50 \frac{lt}{hab * día} * 1805 \text{ hab}$$

$$L = 94762.50 \frac{lt}{día}$$

Tabla 45 Tiempo de retención de acuerdo a la contribución de agua residual

Contribución diaria (L)	Tiempo de retención (T)	
	Días	Horas
Hasta 1,500	1.00	24
De 1,501 a 3,000	0.92	22
De 3,000 a 4,500	0.83	20
4,501 a 6,000	0.75	18
6,001 a 7,500	0.67	16
7,501 a 9,000	0.58	14
Más de 9,000	0.50	12

Fuente: Tabla E.7.2 Título E RAS 2000

Como se puede observar en la Tabla 45 al tener una contribución diaria de 94762.50 lt/día se tiene un tiempo de retención (T) de 0.50 días o 12 horas.

Determinación de la tasa de acumulación de lodos digeridos (K)

Según la norma RAS 2000 el valor de la tasa de acumulación de lodos digeridos se asume de acuerdo a la temperatura del ambiente y el intervalo de limpieza. El cantón Quero posee una temperatura promedio de 15 °C, también se conoce que el intervalo mínimo de limpieza de un tanque séptico es de un año por lo que se asume dicho valor como intervalo para el análisis respectivo.

Tabla 46 Tasa de acumulación de acuerdo al intervalo de limpieza

Intervalo de limpieza (años)	Valores de K por intervalo temperatura ambiente (t) en °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t ≥ 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fuente: Tabla E.7.3 Título E RAS 2000

De acuerdo a los criterios de la norma RAS 2000 se tiene un valor de tasa de acumulación de lodos digeridos (K) de 65

Cálculo del volumen útil del tanque séptico

$$V_u = 1000 + N_c * (C * T + K * L_f) \quad \text{Ec. 47}$$

L_f = lodo fresco que puede generar una persona por día (lt/día), según la norma RAS 2000 generalmente es 1 lt/hab.

$$V_u = 1000 + 1805 \text{ hab} * \left(52.50 \frac{\text{lt}}{\text{hab} * \text{día}} * 0.50 \text{ días} + 65 * 1 \frac{\text{lt}}{\text{hab}} \right)$$

$$V_u = 165706.25 \text{ lt}$$

$$V_u = 165.71 \text{ m}^3$$

Cálculo de la profundidad útil del tanque séptico

Para asumir el valor de la profundidad útil, se tomó en consideración la Tabla 47 que nos presenta el RAS 2000 como se puede ver a continuación:

Tabla 47 Valores de profundidad útil

Volumen útil (m ³)	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
Hasta 6	1.2	2.2
De 6 a 10	1.5	2.5
Más de 10	1.8	2.8

Fuente: Tabla E.3.3 Título E RAS 2000

Al ser el volumen útil mayor a 10 m³ se asume una profundidad útil máxima de 2.80 m

Cálculo del área superficial del tanque séptico (A)

$$A = \frac{v}{\text{profundidad util}} \quad \text{Ec. 48}$$

$$A = \frac{165.71 \text{ m}^3}{2.80 \text{ m}}$$

$$A = 59.18 \text{ m}^2$$

El tanque séptico se diseñará con dos fosas, cada una separada por medio de dos cámaras, por esta razón se dividirá el área entre cada fosa.

$$A_f = \frac{A}{2} \quad \text{Ec. 49}$$

$$A_f = \frac{59.18 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_f = 29.59 \text{ m}^2$$

Cálculo del ancho útil de cada fosa del tanque séptico (b)

$$2 < \frac{L}{b} < 4 \quad \text{Ec. 50}$$

Se optó por un valor de relación de 2.5

$$L = 2.5 * b$$

$$A_f = L * b$$

$$A_f = 2.5 * b * b$$

$$b = \sqrt{\frac{A_f}{2.5}}$$

$$b = \sqrt{\frac{29.59 \text{ m}^2}{2.5}}$$

$$b = 3.44 \text{ m} \therefore 3.45 \text{ m}$$

Cálculo del largo útil del tanque séptico (L)

$$L = 2.5 * b \quad \text{Ec. 51}$$

$$L = 2.5 * 3.45$$

$$L = 8.63 \text{ m} \therefore 8.65 \text{ m}$$

Cálculo del primer compartimiento del tanque séptico (L_1)

$$L_1 = \frac{2}{3} * L \quad \text{Ec. 52}$$

$$L_1 = \frac{2}{3} * 8.65 \text{ m}$$

$$L_1 = 5.77 \therefore 5.75 \text{ m}$$

Cálculo del segundo compartimiento del tanque séptico (L_2)

$$L_2 = \frac{1}{3} * L \quad \text{Ec. 53}$$

$$L_2 = \frac{1}{3} * 8.65 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.88 \text{ m} \therefore 2.90 \text{ m}$$

Cálculo de la altura total del tanque séptico (H_T)

$$H_T = h + \text{borde libre} \quad \text{Ec. 54}$$

Se asume un borde libre de 0.30 m.

$$H_T = 2.80 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$H_T = 3.10 \text{ m}$$

Tabla 48 Dimensiones del tanque séptico de la propuesta

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	8.65	m
Ancho de cada fosa	3.45	m
Altura	3.10	m
Borde libre	0.30	m
N# de fosas	2	und
Largo 1er comportamiento	5.75	m
Largo 2do comportamiento	2.90	m

Fuente: El autor

3.4.3 Diagnóstico de los procesos de tratamiento óptimos de acuerdo al periodo de diseño futuro.

Como proceso de comprobación en base al periodo de diseño y con ello población y caudal de diseño, se realiza un breve diagnóstico a todos los elementos que se encuentran actualmente funcionando de forma óptima, para conocer su comportamiento teórico a futuro. El procedimiento de cálculo es el mismo realizado en el punto 3.2.4.

3.4.3.1 Diagnóstico de funcionamiento del desarenador en base al periodo de diseño

Para la comprobación de las dimensiones del desarenador, se optó por los criterios de diseño de la norma RAS 2000. El caudal de diseño a utilizar es el calculado en el punto 3.4.1.2 y los datos que se obtuvieron en el punto 3.2.4.2 para el diagnóstico del desarenador.

DATOS

- Qd = Caudal de diseño (lt/seg): 1.69
- p_s = Densidad relativa de la arena (gr/cm³): 2.65
- p = Densidad del agua (gr/cm³): 1
- d = Diámetro de la partícula de arena (cm): 0.02
- g = Aceleración de la gravedad (cm/seg²): 980
- T = Temperatura del agua (°C): 15
- H = Altura útil del desarenador (m): 0.20
- a = ancho útil del desarenador (m): 0.40
- l = longitud útil del desarenador (m): 1.60

Cálculo de la viscosidad cinemática del agua (ν)

$$\nu = \frac{0.436}{T+23.3} \quad \text{Ec. 6}$$
$$\nu = \frac{0.436}{15 + 23.3}$$
$$\nu = 0.011384$$

Cálculo de la velocidad de sedimentación (v_s)

$$v_s = \frac{(p_s - p) * d^2 * g}{18 * \nu} \quad (\text{Ley de Stokes}) \quad \text{Ec. 7}$$

$$v_s = \frac{(2.65 - 1) \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) * (0.02\text{cm})^2 * 980\text{cm/seg}^2}{18 * 0.011384\text{cm}^2/\text{seg}}$$

$$v_s = 3.16 \text{ cm/seg}$$

La ecuación de Stokes se la puede utilizar siempre y cuando el número de Reynolds de la partícula sea inferior o igual a 1.0. Por lo tanto, se realiza la comprobación del número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_s * d}{\nu} \quad \text{Ec. 8}$$

$$Re = \frac{3.16 \text{ cm/seg} * 0.02\text{cm}}{0.011384 \text{ cm}^2/\text{seg}}$$

$$Re = 5.55$$

Como $5.55 > 1$, no se encuentra en el régimen laminar que corresponde a la zona de Stokes. Por lo tanto, se debe realizar un reajuste a la velocidad de sedimentación en el régimen de transición que corresponde a la zona de Allen.

Para ello se determina el coeficiente de arrastre C_D :

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad \text{Ec. 9}$$

$$C_D = \frac{24}{5.55} + \frac{3}{\sqrt{5.55}} + 0.34$$

$$C_D = 5.94$$

Finalmente, la velocidad de asentamiento se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (p_s - 1) * d} \quad \text{Ec. 10}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{980 \text{ cm/seg}^2}{5.94} * (2.65 - 1) * (0.02 \text{ cm})}$$

$$V_s = 2.69 \text{ cm/seg}$$

Para determinar el área del desarenador se utilizó el mismo coeficiente de seguridad tomado en el punto 3.2.4.2 siendo este de 3.2

$$v_s = \frac{Qd * \text{coef. seguridad}}{As} \quad \text{Ec. 11}$$

$$As = \frac{Qd * \text{coef. seguridad}}{v_s}$$

$$Qd = \frac{1.69 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{1000000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$Qd = 1690 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$As = \frac{1690 \text{ cm}^3/\text{seg} * 3.2}{2.69 \text{ cm/seg}}$$

$$As = 2010.41 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2}$$

$$As = 0.20 \text{ m}^2$$

Cálculo del área actual del desarenador

$$As = l * a \quad \text{Ec. 12}$$

$$As = 1.6 \text{ m} * 0.40 \text{ m}$$

$$As = 0.64 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad horizontal (v_h)

$$V_h = \frac{Qd}{A_{transversal}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$V_h = \frac{1690 \text{ cm}^3/\text{seg}}{(40 \text{ cm} * 160 \text{ cm})}$$

$$V_h = 0.26 \text{ cm}/\text{seg}$$

Comprobación de relación de velocidades

$$V_s > V_h$$

2.69 > 0.26 ∴ Cumple con el criterio de diseño.

Como se puede observar el desarenador dentro de 20 años funcionará de forma óptima, ya que el área calculada obtuvo un resultado de 0.20 m², misma que es menor al área con la que está actualmente construido, la cual es de 0.64 m², además cumple las recomendaciones impuestas por la norma RAS 2000.

3.4.3.2 Diagnóstico de funcionamiento del filtro anaerobio ascendente en base al periodo de diseño

Para realizar el diagnóstico del filtro se sigue los parámetros que nos facilita la norma CONAGUA 2015 en el manual de filtros anaerobios de flujo ascendente, el caudal de diseño futuro y las dimensiones actuales del filtro. El procedimiento a seguir es el mismo realizado en el punto 3.2.4.4, para calcular el área teórica.

DATOS

- Qd = caudal de diseño (lt/seg): 1.69
- H = altura total del filtro (m): 2.20
- b = longitud del borde libre (m): 0.45
- d = longitud del bajo dren (m): 0.28
- D = diámetro del filtro (m): 5.32
- hm = altura del medio filtrante (m): 1.47

- S_o = la DBO del afluente (kgDBO/m³): 0.4

Cálculo del volumen del medio filtrante (V_{mf})

$$V_{mf} = h_m * A \quad \text{Ec. 18}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad A = \frac{\pi * (5.32 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 22.23 \text{ m}^2$$

$$V_{mf} = 1.47 \text{ m} * 22.23 \text{ m}^2$$

$$V_{mf} = 32.68 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen total (V_t)

$$V_t = H * A \quad \text{Ec. 19}$$

$$V_t = 2.20 \text{ m} * 22.23 \text{ m}^2$$

$$V_t = 48.91 \text{ m}^3$$

Cálculo de la carga orgánica volumétrica del medio filtrante COV_{mf}

$$COV_{mf} = \frac{Q_d * S_o}{V_{mf}} \quad \text{Ec. 20}$$

$$Q_d = \frac{1.69 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}}$$

$$Q_d = 146.02 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$COV_{mf} = \frac{146.02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.448 \text{ kg DBO}/\text{m}^3}{32.68 \text{ m}^3}$$

$$COV_{mf} = 2.00 \text{ kg DBO m}^3/\text{día}$$

Cálculo de la carga orgánica volumétrica COV

$$COV = \frac{Qd \cdot So}{Vt} \quad \text{Ec. 21}$$

$$COV = \frac{146.02 \frac{m^3}{día} * 0.448 \text{ kg DBO}/m^3}{48.91 m^3}$$

$$COV = 1.34 \text{ kg DBO } m^3/día$$

Cálculo del tiempo real de residencia hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{Vmf}{Qd} \quad \text{Ec. 22}$$

$$TRH = \frac{32.68 m^3}{146.02 m^3/día}$$

$$TRH = 0.22 \text{ días} * \frac{24 h}{1 \text{ día}}$$

$$TRH = 5.37 h$$

Cálculo de la eficiencia esperada (E)

$$E = 100[1 - 0.87(TRH)^{-0.5}] \quad \text{Ec. 23}$$

$$E = 100[1 - 0.87(5.37)^{-0.5}]$$

$$E = 62.46 \%$$

Cálculo de la carga hidráulica superficial (CHS)

$$CHS = \frac{Qd}{A} \quad \text{Ec. 24}$$

$$CHS = \frac{146.02 m^3/día}{22.23 m^2}$$

$$CHS = 6.57 m^3/m^2/día$$

Según el manual CONAGUA el diseño del filtro que trabaja con aguas residuales domesticas es regido por el tiempo de residencia hidráulica (TRH) cuyo rango debe estar

entre 3 a 10 horas. Como se puede observar dentro de 20 años el filtro cumple con un TRH de 5.37 horas, el mismo que se encuentra en el intervalo que establece el manual. Además, cumple con el valor de la carga hidráulica superficial ya que al tener un valor de 6.57 se encuentra dentro del rango establecido, el mismo que varía de 6 a 15 m³/m²/día. Por lo tanto, se puede concluir hablando de forma teórica que el filtro ascendente funcionará de forma óptima dentro de 20 años con una eficiencia del 62.46%.

3.4.3.3 Diagnóstico de funcionamiento del filtro descendente

Para el diagnóstico del filtro descendente, se utilizan los criterios de diseño del manual OPS/CEPIS/06 y además se sigue el proceso y datos utilizados en el punto 3.2.4.5.

DATOS:

- Qd = Caudal de diseño (lt/seg): 1.69
- H = Altura útil del filtro descendente (m): 1.20
- a = ancho útil del filtro descendente (m): 3.90
- l = longitud útil del filtro descendente (m): 4.90
- vf = velocidad de filtración (m/h): 0.1
- N = numero de unidades de filtros existentes: 2

Cálculo del área teórica superficial del filtro descendente (Ast)

$$Ast = \frac{Qd}{N * vf} \quad \text{Ec. 25}$$

$$Qd = \frac{1.69 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}}$$

$$Qd = 6.08 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Ast = \frac{6.08 \text{ m}^3/\text{h}}{2 * 0.1 \text{ m}/\text{h}}$$

$$Ast = 30.40 \text{ m}^2$$

Cálculo del área real superficial del filtro descendente (A_s)

$$A_s = a * l \quad \text{Ec. 26}$$

$$A_s = 3.90 * 4.90$$

$$A_s = 19.11 \text{ m}^2$$

Cálculo de la velocidad de filtración real del filtro descendente (VR)

$$VR = \frac{Qd}{2 * l * b} \quad \text{Ec. 27}$$

$$VR = \frac{6.08 \text{ m}^3/\text{h}}{2 * 3.90 \text{ m} * 4.90 \text{ m}}$$

$VR = 0.15 \text{ m/h}$ → la velocidad de filtración se encuentra en el rango

Como se puede observar el filtro descendente dentro de 20 años cumple con el criterio de diseño de la velocidad de filtración, sin embargo, el área calculada es menor al área real, por esta razón, es necesario realizar un nuevo diagnóstico a futuro para comprobar el funcionamiento del mismo.

3.4.3.4 Diagnóstico de funcionamiento del lecho de secado de lodos

Para el análisis del lecho o patio de secado de lodos, los cálculos se basan en los criterios de diseño que nos presenta el Manual OPS 2005, se utiliza el caudal y la población futura y se sigue el procedimiento realizado en el punto 3.2.4.5.

DATOS

- SS = sólidos en suspensión en el agua residual (mg/l): 645
- Qd = caudal de diseño (lt/seg): 1.69

- P_{lodos} = densidad de lodos (kg/lit) 1.04
- % *solidos* = porcentaje de solidos (8-12%) 12
- T = temperatura (°C) 15
- Td = tiempo de digestión (días) 55
- l = largo útil de un patio de secado de lodos (m): 7.3
- a = ancho útil del lecho de secado de lodos (m): 3.50
- H = profundidad de aplicación (m): 0.40

Cálculo de la carga de sólidos que ingresan al sedimentador (C)

$$C = Qd * SS * 0.0864 \text{ kg SS/día} \quad \text{Ec. 28}$$

$$C = 1.69 * 645 * 0.0864 \text{ kg SS/día}$$

$$C = 94.18 \text{ kg SS/día}$$

Cálculo de la masa de sólidos que conforman los lodos (M_{cd})

$$M_{cd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C) \quad \text{Ec. 29}$$

$$M_{cd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 94.18 \text{ kg SS/día}) + (0.5 * 0.3 * 94.18 \text{ kg SS/día})$$

$$M_{cd} = 30.61 \text{ kg} \frac{SS}{día}$$

Cálculo del volumen diario de lodos digeridos (V_{sd})

$$V_{sd} = \frac{M_{cd}}{P_{lodos} * \left(\frac{\% \text{ de solidos}}{1000}\right)} \quad \text{Ec. 30}$$

$$V_{sd} = \frac{30.61 \text{ kg/día}}{1.04 \text{ kg/lit} * \left(\frac{12}{100}\right)}$$

$$V_{sd} = 245.27 \text{ lt/día}$$

Cálculo del volumen de lodos a extraerse del tanque (V_{el})

$$V_{el} = \frac{V_{sd} * Td}{1000} \quad \text{Ec. 31}$$

$$V_{el} = \frac{245.27 \frac{lt}{día} * 55 \text{ día}}{1000}$$

$$V_{el} = 13.49 \text{ m}^3$$

Cálculo del área teórica del lecho de secado de lodos (*At*)

$$At = \frac{V_{el}}{H} \quad \text{Ec. 32}$$

$$At = \frac{13.49}{0.4}$$

$$At = 33.73 \text{ m}^2$$

Cálculo del área real del lecho de secado de lodos (*A*)

$$A = a * l \quad \text{Ec. 33}$$

$$A = 3.50 \text{ m} * 7.30 \text{ m}$$

$$A = 25.55 \text{ m}^2$$

Como se puede observar el área teórica es mayor al área real, por esta razón se puede asumir que, si el caudal que ingresa a la PTAR alcanza el valor calculado en el periodo de diseño establecido, el lecho de secado de lodos será insuficiente y se deberá realizar una ampliación del mismo, siendo necesario realizar un nuevo diagnóstico dentro de 20 años.

3.4.4 Comparación del estado actual de la PTAR con la propuesta

En base a los resultados obtenidos tanto en la caracterización del agua residual como con el diagnóstico de cada proceso unitario de la PTAR de la comunidad de Puñachizag, se pudo observar las deficiencias que la planta tiene actualmente, por esa razón se propuso un mejoramiento que incorpora nuevos procesos unitarios como es el caso de la trampa

de grasas y un rediseño de los procesos que no cumplen actualmente con las normas o manuales de diseño como es el caso del tanque séptico.

A continuación, se tiene una comparación del estado actual de la planta con la propuesta en donde se indica la función que cumple cada proceso en la planta de tratamiento y si dicho proceso está funcionando de forma óptima.

Tabla 49 Comparación estado actual de la PTAR con la propuesta

PROCESO UNITARIO	FUNCIÓN	ESTADO ACTUAL	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO
		DIMENSIONES	DIMENSIONES
TRAMPA DE GRASAS	Separa y recolecta grasas y aceites del agua residual	No existe	Se diseño bajo criterios de la norma colombiana RAS 2000
DESARENADOR	Sedimentar los sólidos suspendidos en el agua residual	Cumple con los criterios de diseño establecidos por la norma colombiana RAS 2000	No necesita un mejoramiento actualmente
REJILLAS	Retener los sólidos de gran tamaño	Existe, sin embargo, se encuentran deterioradas	Se debe realizar un cambio de rejillas
TANQUE SÉPTICO	Separa la parte solida de las aguas residuales	No cumple con la normativa vigente para su diseño	Se diseño bajo criterios de la norma colombiana RAS 2000
FAFA	Remueve los compuestos contaminantes existentes en el agua residual	Cumple con los criterios de diseño que establece CONAGUA 2015	No necesita un mejoramiento actualmente
FILTROS PERCOLADORES	Remueve los compuestos contaminantes existentes en el agua residual	Cumple con la normativa vigente para su diseño	No necesita un mejoramiento actualmente
LECHO DE SECADO DE LODOS	Patio donde se secan los lodos producidos por el tanque séptico.	Cumple con los criterios de diseño que establece la OPS	No necesita un mejoramiento actualmente

Fuente: El autor

3.5 Plan de operación y mantenimiento

Para que una PTAR funcione de forma óptima en el transcurso de su vida útil, se debe realizar un constante mantenimiento a demás que con ello se podrá tener un mejor control de cada uno de los procesos unitarios. Esto se puede realizar por parte de un operador que supervise la planta constantemente con los respectivos equipos necesarios.

3.5.1 Plan de operación y mantenimiento para las rejillas

El operador debe realizar un control periódico de las rejillas puesto que pueden estar obstruidas por algún material de mayor tamaño que puede llegar a obstaculizar el paso normal del agua residual. En caso de estarlo el operador deberá retirar dicho material con la utilización del equipo adecuado. Este procedimiento deberá ser realizado de preferencia en la mañana para garantizar el correcto funcionamiento de las rejillas en el transcurso del día.

Tabla 50 Actividades de mantenimiento para las rejillas

FRECUENCIA	PERSONAL	ACTIVIDAD	EQUIPO/HERRAMIENTAS
1 vez / 15 días	Operador	<ul style="list-style-type: none">• Chequear si existe la acumulación de demasiados solidos en las rejillas.• Realizar la limpieza de las rejillas.• Colocar los sólidos en fundas plásticas para posteriormente ser desechados en la basura.	<ul style="list-style-type: none">• Equipo de seguridad (Ver tabla 14)• Rastrillo• Pala• Funda plástica
1 vez / año	Operador	<ul style="list-style-type: none">• Chequear el estado de los barrotos.• Reparar y sustituir los barrotos defectuosos en caso de ser necesario	<ul style="list-style-type: none">• Equipo de seguridad (Ver tabla 14)

Fuente: El autor

3.5.2 Plan de operación y mantenimiento para la trampa de grasas

El operador debe realizar un control periódico y realizar una limpieza de la trampa de grasas de forma regular que generalmente se la realiza cuando esta alcanza un 75% de su capacidad como mínimo, para prevenir grandes escapes de grasa y con ello la generación

de malos olores, a su vez para un correcto flujo del agua residual para el siguiente proceso. Este procedimiento deberá ser realizado de preferencia en la mañana para garantizar el correcto funcionamiento del mismo en el transcurso del día.

Tabla 51 Actividades de mantenimiento para la trampa de grasas

FRECUENCIA	PERSONAL	ACTIVIDAD	EQUIPO/HERRAMIENTAS
1 vez / 15 días	Operador	<ul style="list-style-type: none"> Chequear si existe la acumulación de demasiadas natas o grasas de aceites en la superficie de la unidad (mayor a 3 cm). 	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de seguridad (Ver tabla 14)
	Operador	<ul style="list-style-type: none"> Remover las grasas y aceites de la superficie. Remover los sólidos del fondo en caso de haberlos. Recoger y transportar las natas y lodos en fundas de basura. 	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de seguridad (Ver tabla 14) Pala Funda plástica

Fuente: El autor

3.5.3 Plan de operación y mantenimiento para el desarenador

El mantenimiento del desarenador debe ser realizado de forma periódica. Este procedimiento deberá ser realizado de preferencia en la mañana para garantizar el correcto funcionamiento del mismo en el transcurso del día.

Tabla 52 Actividades de mantenimiento para el desarenador

FRECUENCIA	PERSONAL	ACTIVIDAD	EQUIPO/HERRAMIENTAS
1 vez / 15 días	Operador	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un control y monitoreo del estado del agua y de los caudales de ingreso, para detectar alguna anomalía con el paso del tiempo. Realizar una medición del lecho de arena acumulado (realizar los pasos siguientes si la arena ocupa la mitad del espacio de almacenamiento). Drenaje del agua residual. Remoción de la arena 	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de seguridad (Ver tabla 14) Bitácora o ficha de operación Pala Caretilla

Fuente: El autor

3.5.4 Plan de operación y mantenimiento para el tanque séptico

El operador deberá remover los lodos y espumas que se acumulan en el tanque de acuerdo al intervalo de limpieza con el que fue construido, este intervalo puede disminuirse o incrementarse siempre que exista una justificación que no afecte al correcto funcionamiento del tanque séptico, ni se presenten malos olores en el mismo. El procedimiento de limpieza que se describe a continuación es en base a los criterios del manual OPS/CEPIS/05.168.

Tabla 53 Actividades de mantenimiento para el tanque séptico

FRECUENCIA	PERSONAL	ACTIVIDAD	EQUIPO/HERRAMIENTAS
1 vez / 6 meses	Operador	<ul style="list-style-type: none"> Realizar una inspección de la altura de los lodos y natas. 	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de seguridad (Ver tabla 14) Listón de madera
1 vez / año	Operador	<ul style="list-style-type: none"> Cerrar las llaves de paso. Abrir todas las compuertas del tanque, para que se ventile adecuadamente y con ello elimine todos los gases existentes en el mismo (mínimo 15 min). Remover las natas presentes en la superficie. (para facilitar el proceso se puede esparcir cal hidrata o ceniza vegetal en la superficie de las natas y posteriormente mezclarlos con un listón de madera) Retirar el lodo y las natas por medio de un carro cisterna equipado con bomba de vacío y manguera. Enterrar los lodos extraídos en zanjas o secarlos en el lecho de secado para ser usados como abono. 	<ul style="list-style-type: none"> Equipo de seguridad (Ver tabla 14) Listón de madera Carro cisterna Bomba de vacío Manguera Pala Carretilla

Fuente: El autor

3.5.5 Plan de operación y mantenimiento para los filtros percoladores

Para comprobar el buen funcionamiento de los filtros se debe realizar como mínimo una vez al año un análisis físico químico del agua residual para comprobar la eficiencia de los filtros y conocer si existen problemas operacionales en los mismos.

Tabla 54 Actividades de mantenimiento para los filtros percoladores

FRECUENCIA	PERSONAL	ACTIVIDAD	EQUIPO/HERRAMIENTAS
1 vez / 15 días	Operador	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una inspección de la capa superficial de los filtros y de la estructura del mismo. • Retirar la vegetación, acumulación de hojas o algún tipo de basura que se encuentre en la capa superficial. • Transportar dichos residuos en fundas de basura. • Limpiar la superficie del filtro utilizando agua limpia a presión. Para limpiar la biomasa del medio filtrante (piedras). 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de seguridad (Ver tabla 14) • Funda plástica. • Manguera de agua
1 vez / año	Operador	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un análisis físico químico del agua residual para comprobar la eficiencia de los filtros y conocer la existencia de posibles problemas operacionales. • Realizar la toma de muestras (Se puede usar el mismo procedimiento realizado en la Tabla 16 Planificación de la toma de caudales de la PTAR). 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de seguridad (Ver tabla 14) • Equipo de toma de muestras (Ver tabla 18)

Fuente: El autor

3.5.6 Plan de operación y mantenimiento para el lecho de secado de lodos

Para la limpieza del lecho de secado de lodos el operador debe revisar si los lodos alcanzaron una altura considerable para ser retirados, y puede realizar las actividades que se presentan a continuación.

Tabla 55 Actividades de mantenimiento del lecho de secado de lodos

FRECUENCIA	PERSONAL	ACTIVIDAD	EQUIPO/HERRAMIENTAS
1 vez / 15días	Operador	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una inspección del lecho de secado de lodos. • Distribuir los lodos de forma uniforme para facilitar su secado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de seguridad (Ver tabla 14) • Pala
1 vez / 6 meses	Operador	<ul style="list-style-type: none"> • Remover los lodos secos, si estos alcanzaron una altura considerable pero que sea de fácil manejo para el operador. • Limpiar el lecho de secado de lodos para su próximo uso. • Transportar los lodos en saquillos para que puedan ser utilizados posteriormente como abono. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de seguridad (Ver tabla 14) • Pala • Saquillos de lona

Fuente: El autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Por medio del levantamiento de información de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Puñachizag, cantón Quero, provincia de Tungurahua, se pudo conocer que la planta se encuentra en funcionamiento desde el 20 de octubre del 2007 y fue diseñada en el año 2004 por un convenio interinstitucional entre la ESPE y el municipio de Quero donde, debido al tiempo transcurrido se pudo evidenciar la inexistencia de una memoria técnica de la planta y que los planos existentes no son coherentes con la planta construida.
- Una vez realizada la toma de caudales por medio del método volumétrico se pudo determinar la inexistencia de un caudal pico que se vea reflejado en un mismo intervalo para cada día de la semana, por esta razón por medio del uso de la estadística se determinó un caudal teórico máximo de 1.02 lt/seg eliminando así los caudales atípicos que se presentaron en el resumen de la toma de caudales como se pudo observar en la Tabla 17. El valor que más se acercó al caudal máximo teórico fue el caudal de 0.95 lt/seg, el mismo que multiplicado por un factor de seguridad del 10% dio como resultado un caudal de diseño de 1.05 lt/seg, caudal usado para el diagnóstico de cada proceso actual que conforma la PTAR.
- Respecto a los resultados del análisis físico químico realizado tanto al agua residual de ingreso como al agua tratada de salida se pudo evidenciar que el parámetro aceites y grasas supera el límite máximo permitido por la norma TULSMA 2015 para descargas de agua en cuerpos de agua dulce. Concluyendo que la PTAR no está funcionando de forma óptima.

- Por medio de la evaluación del funcionamiento de la PTAR, se llegó a la conclusión que el tanque séptico no cumple con los criterios y recomendaciones de diseño que establecen las normas o manuales de diseño respectivos. Corroborando con la conclusión anterior que la planta no está funcionando de forma optima
- Para solucionar el problema donde el parámetro aceites y grasas supera el límite establecido por el TULSMA 2015, se planteó la incorporación de un nuevo proceso unitario conocido como trampa de grasas. Y para el caso del tanque séptico que actualmente se encuentra sub dimensionado se planteó el rediseño del mismo, con el fin de repotenciar la planta de tratamiento y con ello mejorar su funcionamiento.
- Teniendo en cuenta la incorporación de una trampa de grasas y el rediseño del tanque séptico se realizó el cálculo de un caudal de diseño futuro que abarca un periodo de 20 años con el fin de asegurar la vida útil de los mismos, además al ser un periodo relativamente corto se puede asegurar la posibilidad de construcción por etapas y que la comunidad o las entidades puedan planificar la consecución de los recursos necesarios para la realización de este estudio.
- Por medio de un nuevo diagnóstico utilizando el caudal de diseño futuro a todos los procesos unitarios que actualmente funcionan de forma óptima se pudo concluir teóricamente que tanto el filtro descendente como el lecho de secado de lodos dentro de un periodo de 20 años serán insuficientes, por esta razón es necesario realizar un nuevo diagnóstico al terminar el periodo para comprobar dicha hipótesis.
- Con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de la PTAR y evitar problemas futuros se elaboró un plan de operación y mantenimiento de cada uno de los procesos unitarios que intervienen en la descontaminación del agua residual, el mismo que debe llevarse a cabo por un operador capacitado.

4.2 Recomendaciones

- Es recomendable realizar un control periódico de cada uno de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales y realizar un mantenimiento en caso de ser necesario a fin de mantener un funcionamiento óptimo de la PTAR
- Es recomendable que la persona encargada de operar la PTAR este capacitada para realizar tanto el mantenimiento y la limpieza de la planta. Además, deberá llevar consigo siempre su equipo de seguridad y los implementos necesarios para dichas actividades.
- Es aconsejable que el operador de la PTAR lleve un registro de operación de la planta, en donde se tengan datos como: caudales, cambios del agua residual de ingreso y de salida, mantenimientos realizados, entre otros, con el fin de tener un control permanente de la planta para futuros estudios.
- A fin de conocer si la planta se encuentra funcionando de forma óptima se recomienda que se realice cada año un análisis de caracterización del agua residual, para determinar que los parámetros cumplan con la normativa TULSMA, en caso de no cumplir se deberá realizar un diagnóstico y con ello una solución para el mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. M. Pérez Medrano, «Retos y oportunidades para una gestión eficiente de los servicios de agua potable, saneamiento y electricidad en la República Dominicana,» *Acta Universitaria*, vol. 29, n° 2364, p. 1, 2019.
- [2] U. Voluntarios. [En línea]. Available: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/undp-bo-agua-saneamiento.pdf.
- [3] P. d. I. N. Unidas, *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, 2021.
- [4] A. Jouravlev, «Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI,» *CEPAL - SERIE*, n° 74, pp. 1-66, 4 julio 2004.
- [5] A. Molina, M. Pozo y J. C. Serrano, AGUA SANEAMIENTO E HIGIENE: medición de los ODS en Ecuador, Quito: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos y UNICEF, 2018.
- [6] L. Alarcón, «Aguas servidas, un riesgo para los ríos del país,» *El Comercio*, 18 08 2019.
- [7] R. Gonzalez, «La importancia del tratamiento de aguas residuales y el uso benéfico de biosólidos en México,» *CALIDAD AMBIENTAL*, vol. I, pp. 9-12, 2005.
- [8] Noyola, «Tendencias en el Tratamiento de aguas residuales domésticas en,» pp. 2-7.
- [9] S. d. Agua, «SENAGUA Secretaría del Agua,» 6 Agosto 2014. [En línea].
- [10] A. Miño Sánchez, «AGUAS RESIDUALES: Realidad y Perspectivas,» *Secretaría del Agua*, 2014.
- [11] E. H. Palacios Vargas, «EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR), DE LA INSPECCIÓN DE

PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE NILO CUNDINAMARCA,» Bogotá, 2016.

- [12] T. d. J. Romero López y P. S. Garbayo, «Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba,» *Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH)*, vol. 35, n° 3, 2014.
- [13] I. Montes, *Optimización de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales en una Rectificadora de Tanques*, Guayaquil, 2015.
- [14] Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*, Quito, 1997.
- [15] A. Troconis, *Tratamiento de Aguas Residuales*, Miami: Belzona, 2010.
- [16] Metcalf & Eddy, *Tratamiento, vertido y reutilización,» de Ingeniería de aguas residuales*, España: McGRAW-HILL, 1995.
- [17] Dspace, *Aguas residuales: Clasificación, características y composición*, 2010.
- [18] R. Rojas, «GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES,» de *Curso Internacional “GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”*, 2002.
- [19] A. Fernández, P. García, R. García, S. Fernández y J. Sanz, «Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales,» Madrid-España, 2006.
- [20] A. E. Valencia López, *Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo*, Riobamba, 2013.
- [21] TULSMA, *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*, Quito: Ley de Gestión Ambiental, 2015.

- [22] G. Moeller, L. Sandoval, A. Ramirez , E. Ramirez, L. Cardoso, V. Escalante, A. Tomasini, V. Miranda, P. Mijaylova y G. Ortiz, Tratamiento de aguas residuales, México, 2011.
- [23] C. E. d. I. Construcción, «Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposicion de aguas residuales para oblaciones mayores a 1000 habitantes,» Quito, 1992, pp. 309-322.
- [24] R. Elías, «Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones,» *Tecnologia en Marcha*, vol. 18, nº 2, pp. 26-33, 2005.
- [25] C. N. D. AGUA, MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES:FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE, México, 2015.
- [26] O. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, Lima, 2005.
- [27] V. H. Pazmiño Izurieta, *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, Cantón Patate, provincia de Tungurahu, Ambato:* Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, 2020.
- [28] G. QUERO, «GAD QUERO,» 15 01 2015. [En línea]. Available: <https://www.quero.gob.ec/index.php/municipalidades/actividad-economica#:~:text=La%20actividad%20econ%C3%B3mica%20del%20Cant%C3%B3n,%20cebolla%20blanca%20habas%20zanahoria.>
- [29] C. y. T. Ministerio de Vivienda, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS, Bogotá: CIACUA, 2010.

- [30] M. d. J. Caceres Gonzáles, «ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA,» *Mundo Pecuario*, vol. 8, nº 1, pp. 16-19, 2012.
- [31] O. Suarez, J. Carrera y M. Eugenia, *Aguas residuales industriales en Iberoamérica*, 1 ed., Barcelona España, 2020, p. 4.

ANEXOS

Anexo 1.- Fotografías



Figura 38 PTAR de la comunidad de Puñachizag

Fuente: El autor



Figura 39 Obtención de caudales del agua tratada de la PTAR.

Fuente: El autor



Figura 40 Colocación de la muestra de arena en el horno para determinar la densidad relativa de la misma
Fuente: El autor



Figura 41 Eliminación del aire contenido en la muestra para determinar la densidad relativa
Fuente: El autor





Figura 42 Pesado de la muestra con agua para la determinación de la densidad relativa
Fuente: El autor



Figura 43 Preparación de la muestra en los tamices para la determinación de su granulometría
Fuente: El autor

Anexo 2.- Documentos

Plan de mantenimiento de las diferentes comunidades que conforman el cantón Quero:


GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO DEL
PROCESO DE OBRAS PUBLICAS
SUBPROCESO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 Telefonos: 2746237 - 2746304 Ext. 121
 E-mail: munquero@gmail.com
 

PLAN DE MANTENIMIENTO

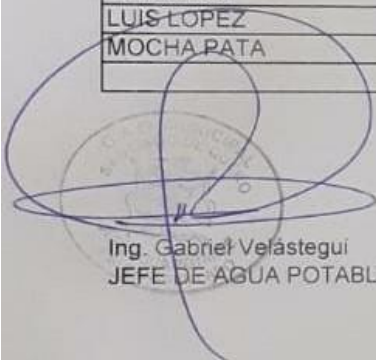
CRONOGRAMA DE CONTROL Y LIMPIEZA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTON SANTIAGO DE QUERO.

FECHA DE PLANIFICACION 25 05 2021

FECHA DE INICIO : 14 06 2021

FECHA DE TERMINACION 15 07 2021

COMUNIDAD Y PARROQUIA INTERVENIDA	FECHA DE INICIO	FECHA TERMINACION
LLIMPE GRANDE	14 06 2021	14 06 2021
LLIMPE CHICO	15 06 2021	15 06 2021
ZONA LIBRE	16 06 2021	16 06 2021
SAN VICENTE	17 06 2021	18 06 2021
PUEBLO VIEJO	21 06 2021	21 06 2021
SHAUSHI	22 06 2021	22 06 2021
PUNACHIZAG	23 06 2021	23 06 2021
EL SANTUARIO	29 06 2021	30 06 2021
HUALCANGA SAN LUIS	01 07 2021	02 07 2021
HUALCANGA SANTA ANITA	05 07 2021	05 07 2021
YAYULIHUI ALTO Y CENTRO	06 07 2021	06 07 2021
RUMIPAMBA	07 07 2021	08 07 2021
PILCO	09 07 2021	09 07 2021
LA DOLOROSA-LA PRIMAVERA DE YANAYACU	12 07 2021	12 07 2021
YANAYACU	13 07 2021	13 07 2021
LUIS LOPEZ	14 07 2021	14 07 2021
MOCHA PATA	15 07 2021	15 07 2021


 Ing. Gabriel Velástegui
 JEFE DE AGUA POTABLE

Acta de entrega recepción de la PTAR a la comunidad de Puñachizag:

TEL: 060-244 FAX: 2422-297
mailto:ptar@tungurahua.gov.ec

Ambato - Ecuador

Casilla: 18-01-320
Bolivar y Castillo

ACTA DE ENTREGA RECEPCION DE UN ABASTECIMIENTO

H. CONSEJO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA

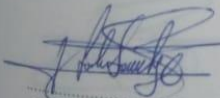
En la comunidad de Puñachizag perteneciente al Cantón Quero de la Provincia de Tungurahua a los 20 días del mes de Octubre de 2007 para el efecto constituidos en **ACTO ESPECIAL** por una parte el Ing. Fernando Naranjo **PREFECTO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA** y por otra parte el Señor **JORGE TIMBELA** **Presidente de la Junta Administradora de Agua Potable de Puñachizag** se procede a la firma del Acta de Entrega Recepción de las siguientes obras sanitarias:


Redes de recolección: 8325 mts. Ø 200 mm
Pozos de revisión: 157 u
Acometidas: 140 u Ø 150 mm
Planta de Tratamiento: - Cajón Desarenador y repartidor
- Tanque Séptico
- Lecho de Secado de Lodos
- Filtro Biológico
- Filtro descendente
- By pass


Aporte H.C.P.T: 164.400,00 USD
Aporte comunidad: 6.000,00 USD
Total proyecto: 170.400,00 USD
Tarifa mes: 1,00 USD.

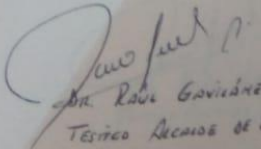
Al recibir en forma satisfactoria la obra física, el Presidente de la Junta Administradora se compromete al **cuidado y mantenimiento** del sistema de acuerdo a las disposiciones técnicas emanadas por parte del H. Consejo Provincial de Tungurahua.

Para constancia de lo actuado firman la presente acta, en tres ejemplares de igual tenor.


POR EL H.C.P.T.



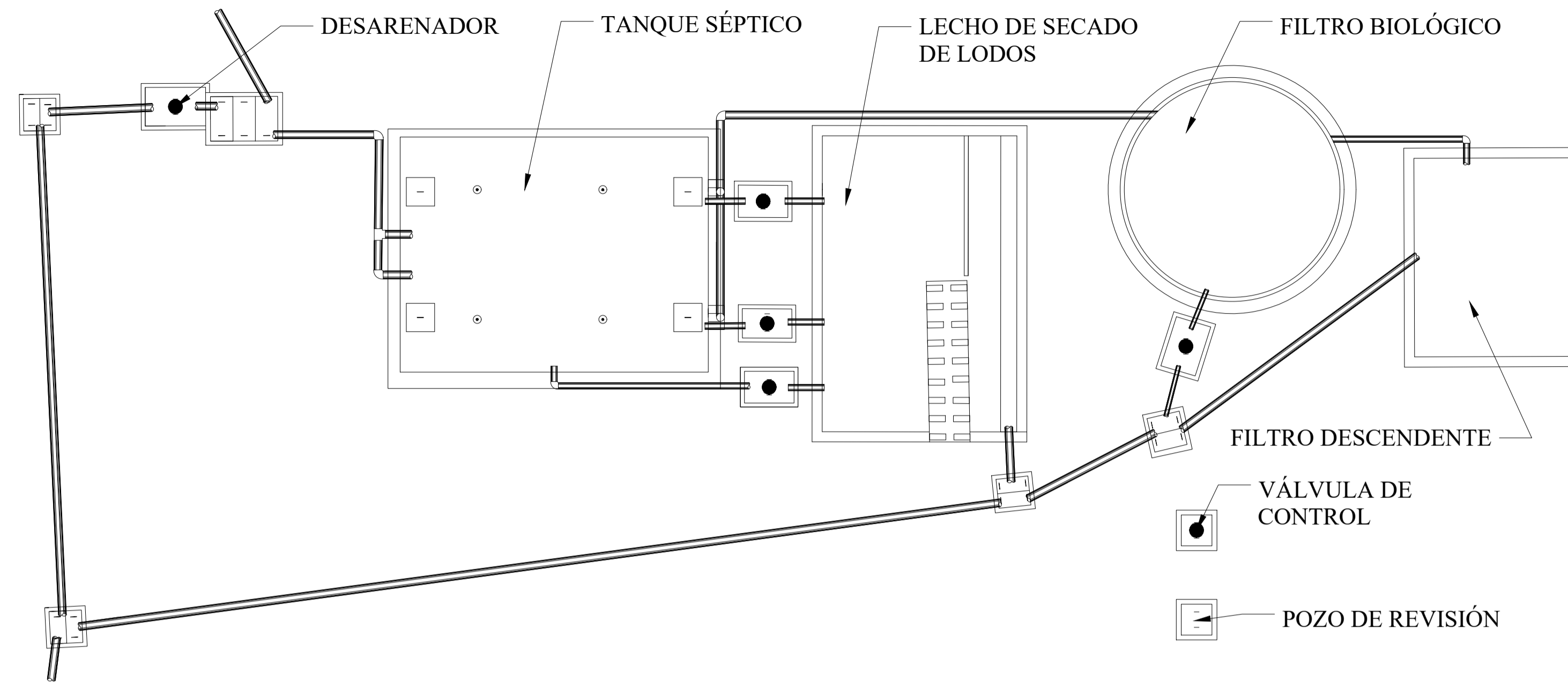

POR LA COMUNIDAD


Testigo Ricardo de J.M. Suarez

TUNGURAHUA. TIERRA DE OPORTUNIDADES

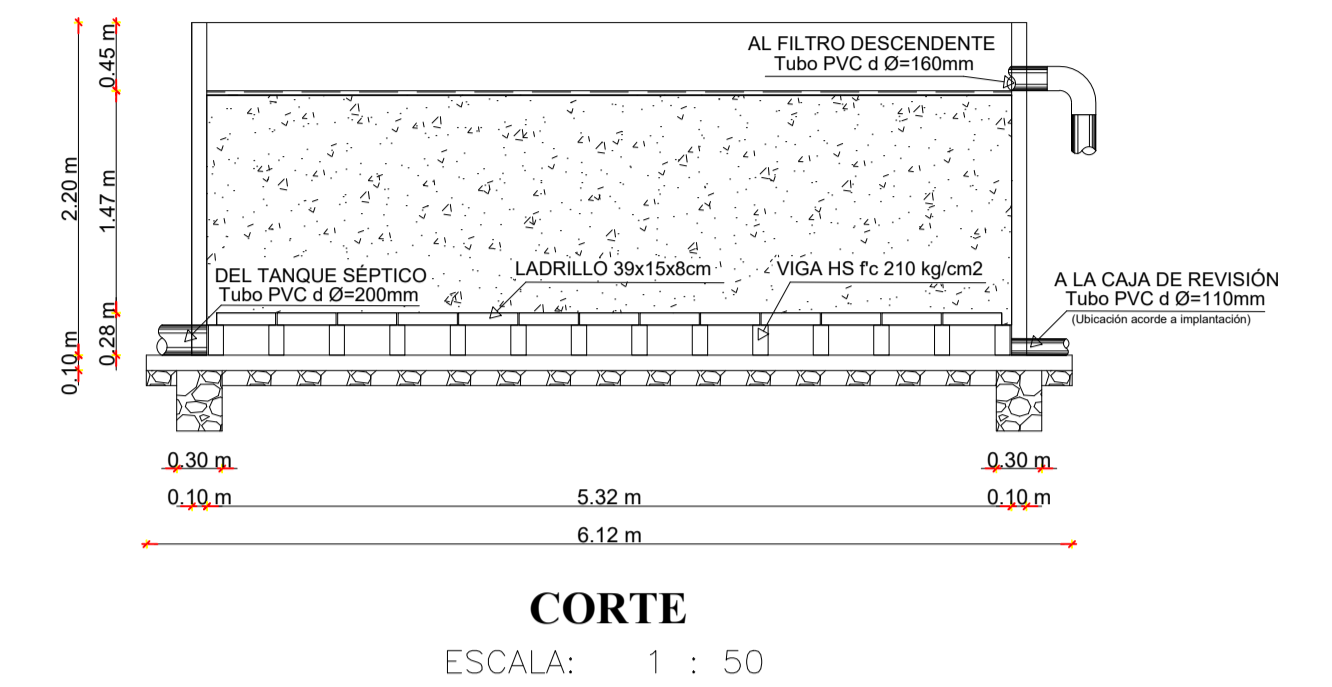
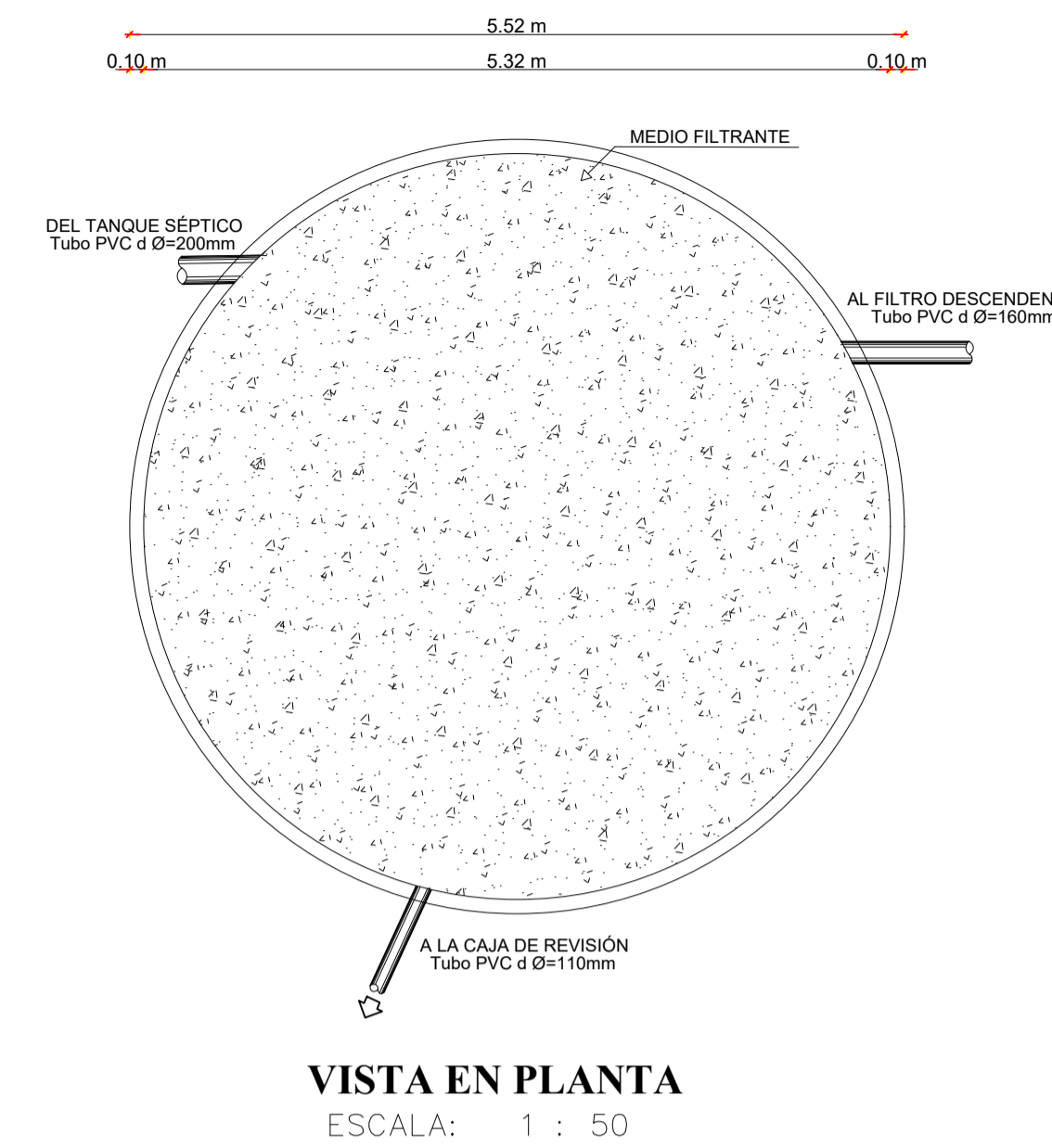
Anexo 3.- Planos

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

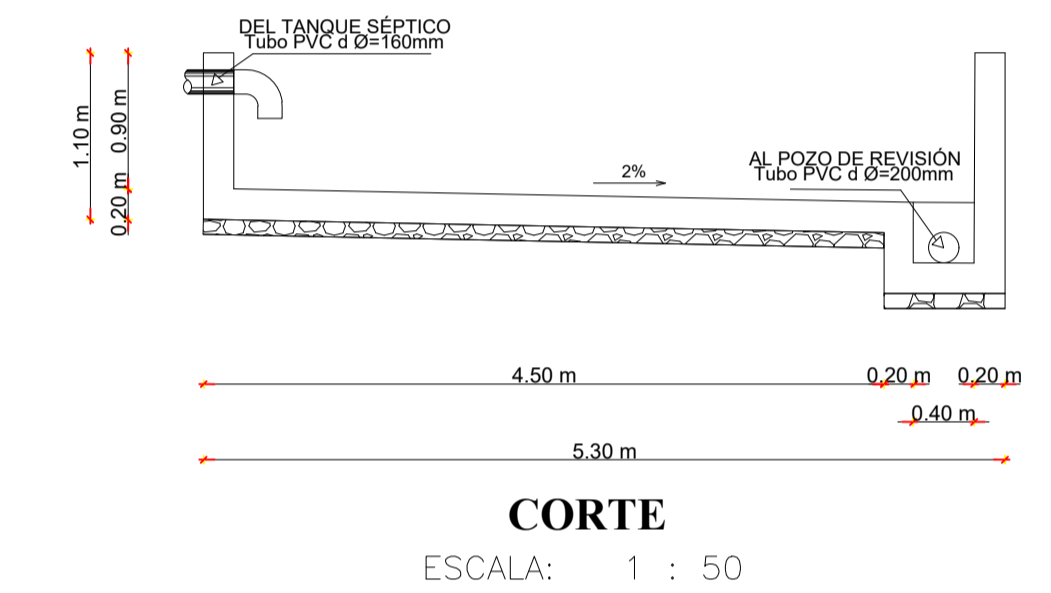


VISTA EN PLANTA PTAR DE PUÑACHIZAG ACTUAL
ESCALA: 1 : 100

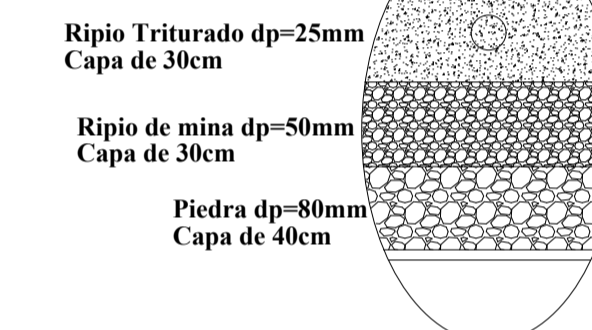
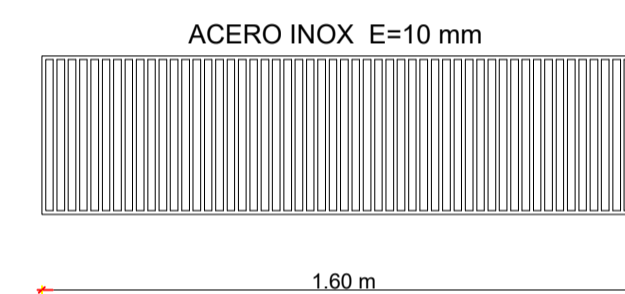
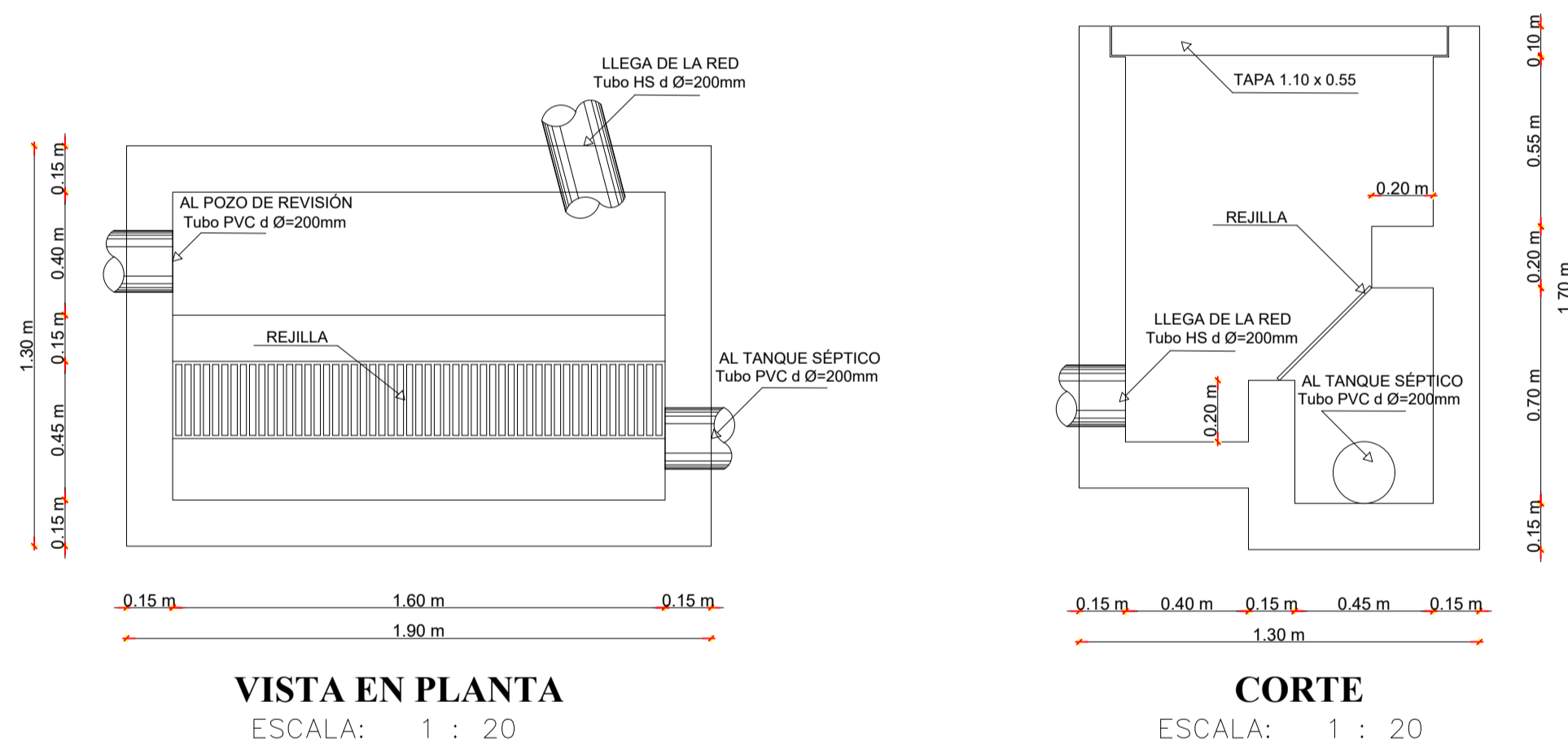
FILTRO BIOLÓGICO



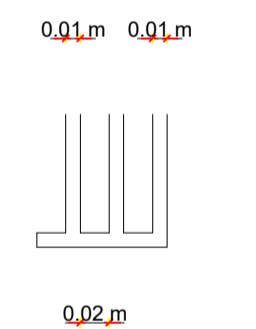
LECHO DE SECADO DE LODOS



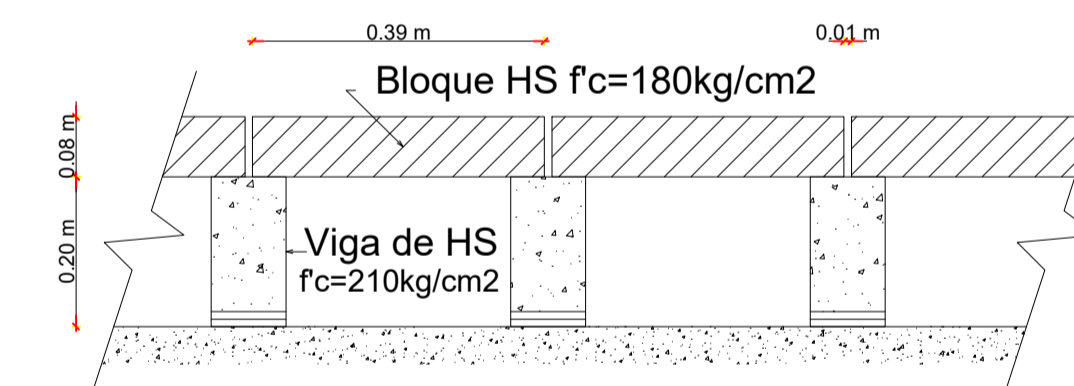
TANQUE DESARENADOR



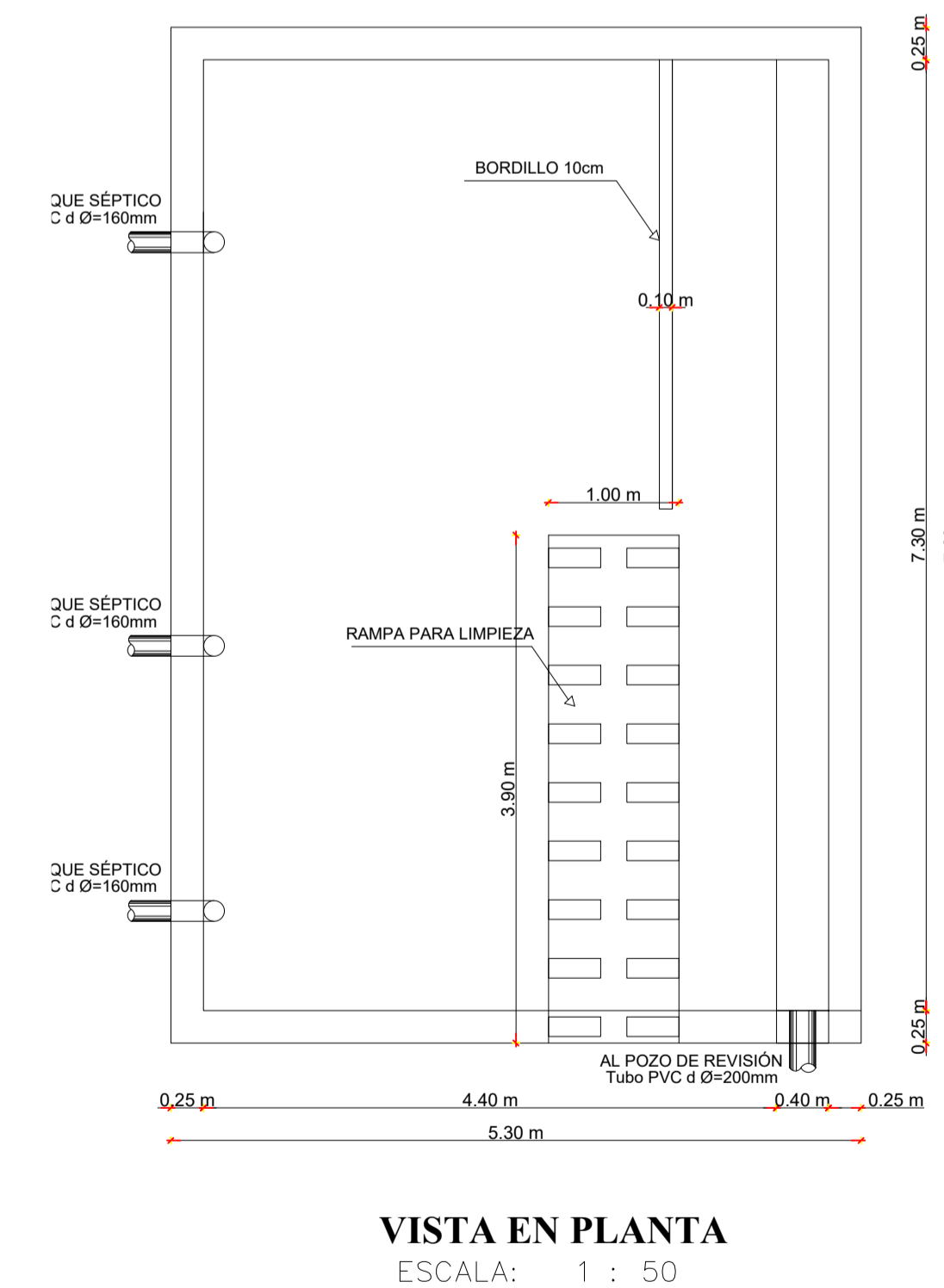
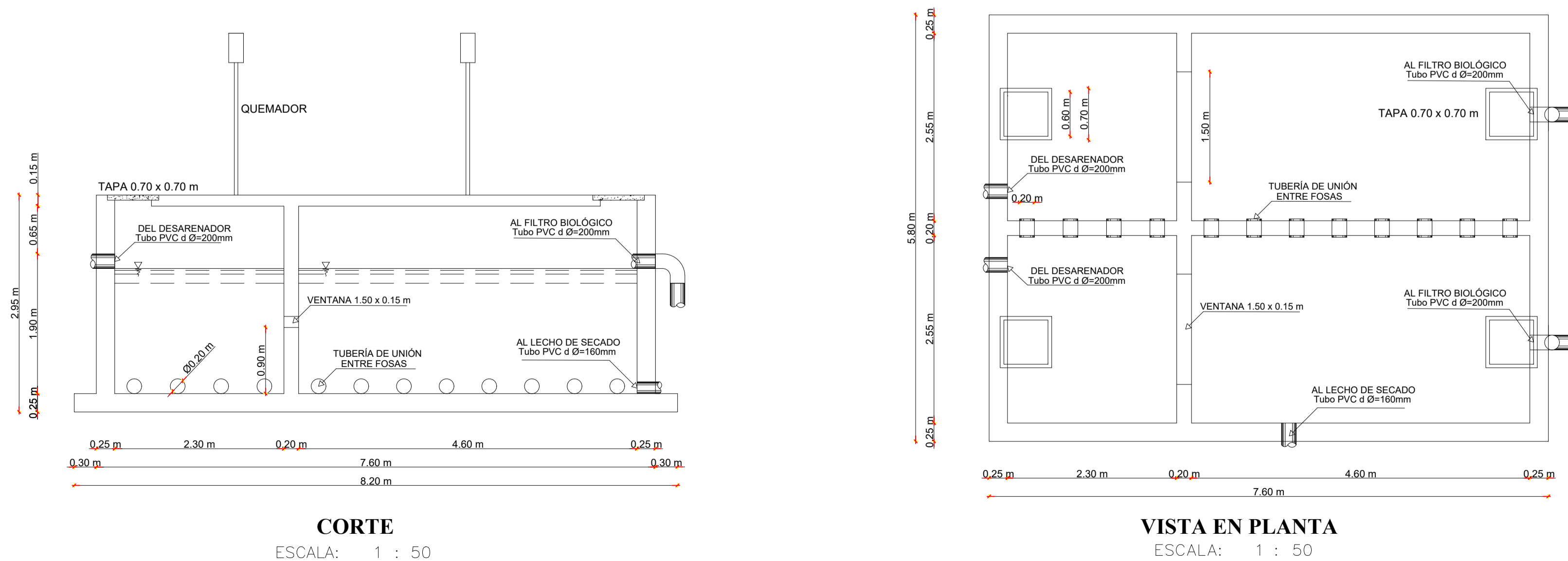
DETALLE REJILLA
ESCALA: 1 : 20



DETALLE MATERIAL FILTRANTE
SIN ESCALA

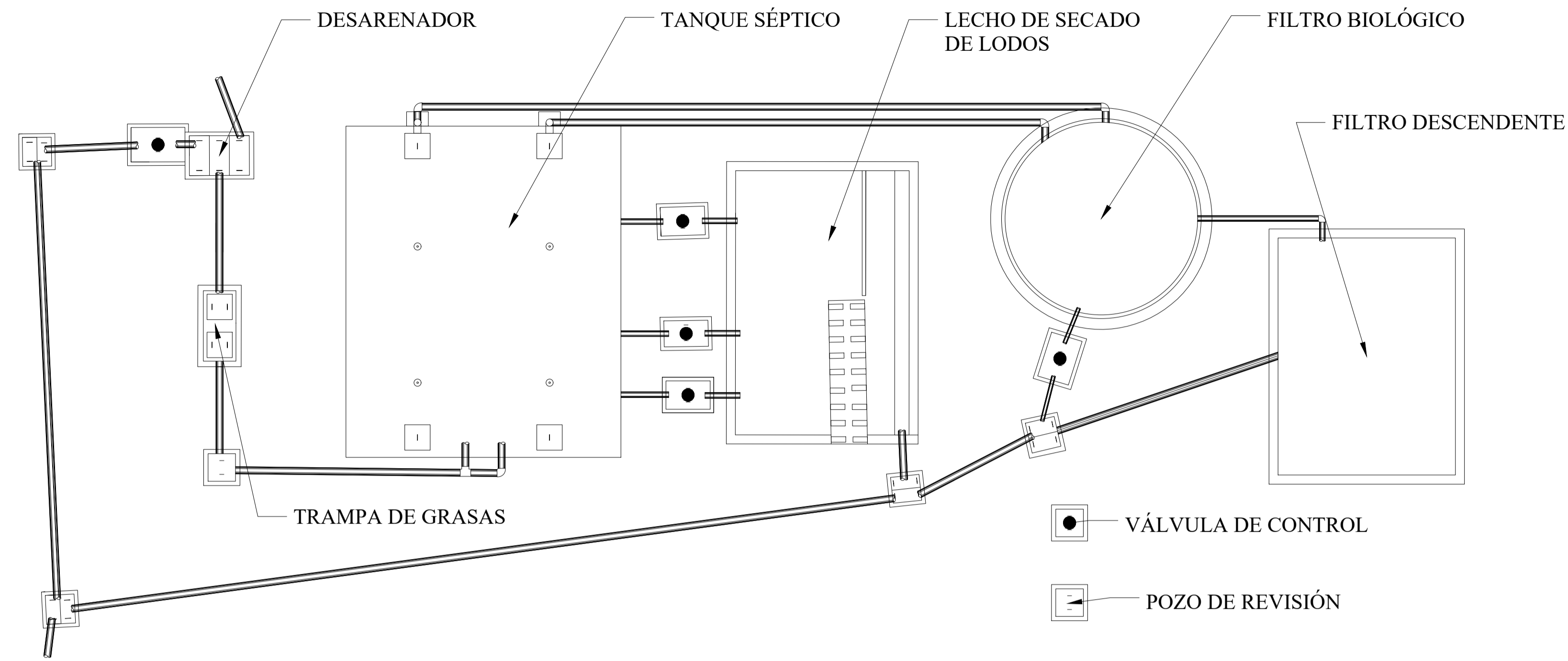


TANQUE SÉPTICO



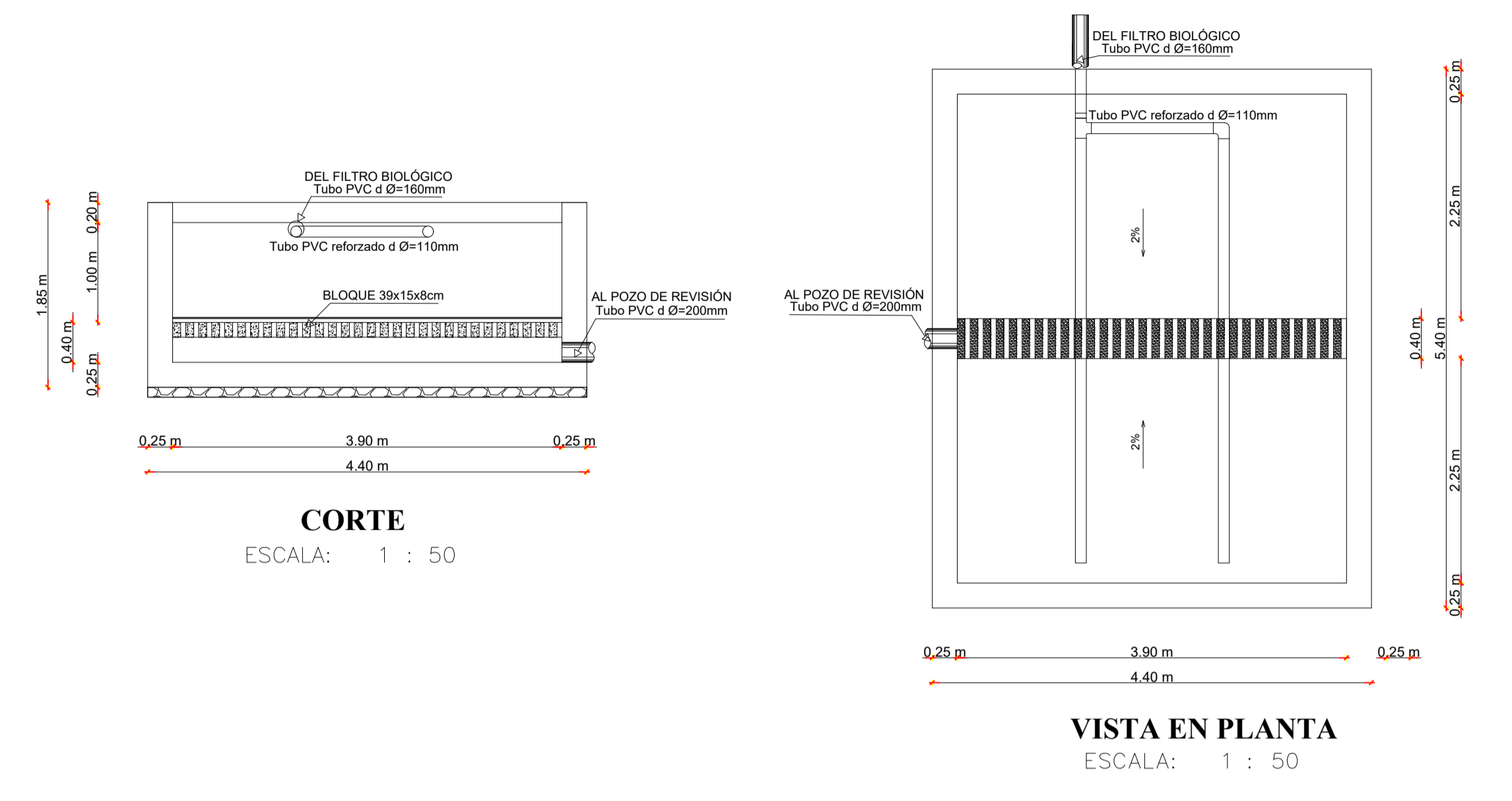
<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p>			
PROYECTO:	EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
CONTIENE:	PLANOS Y DETALLES PTAR ACTUAL	ESCALA: INDICADAS	FECHA: JULIO / 2021
APROBÓ:	REVISÓ:	ELABORÓ:	LÁMINA:
ING. MG. FIDEL CASTRO TUTOR DE TESIS	ING. GABRIEL VELASTEGUI JEFE AGUA POTABLE Y ALCANT. G.A.D.M.Q.	EGDO. RICARDO CRIJOLLO U.T.A. - E.L.C.M.	01

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



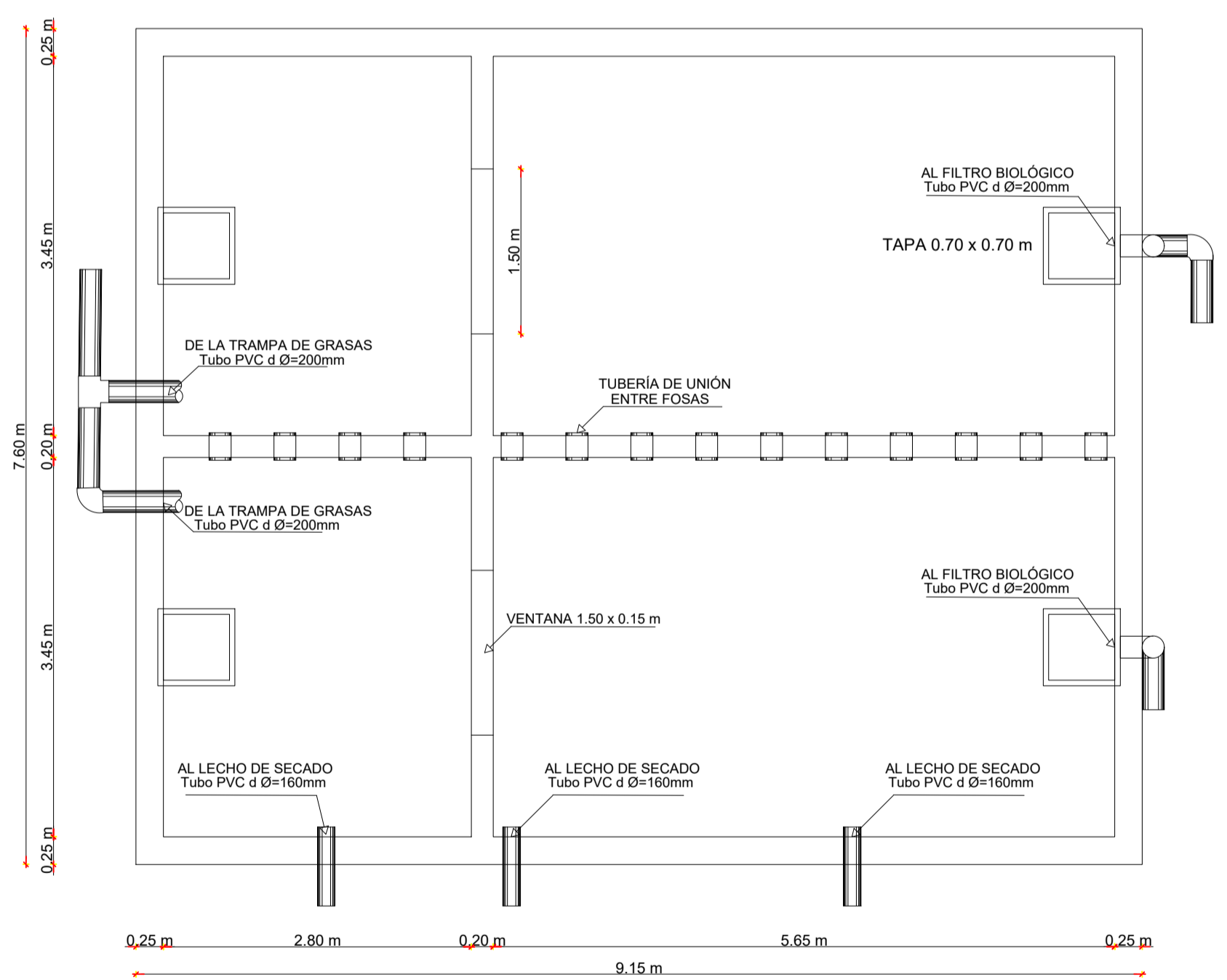
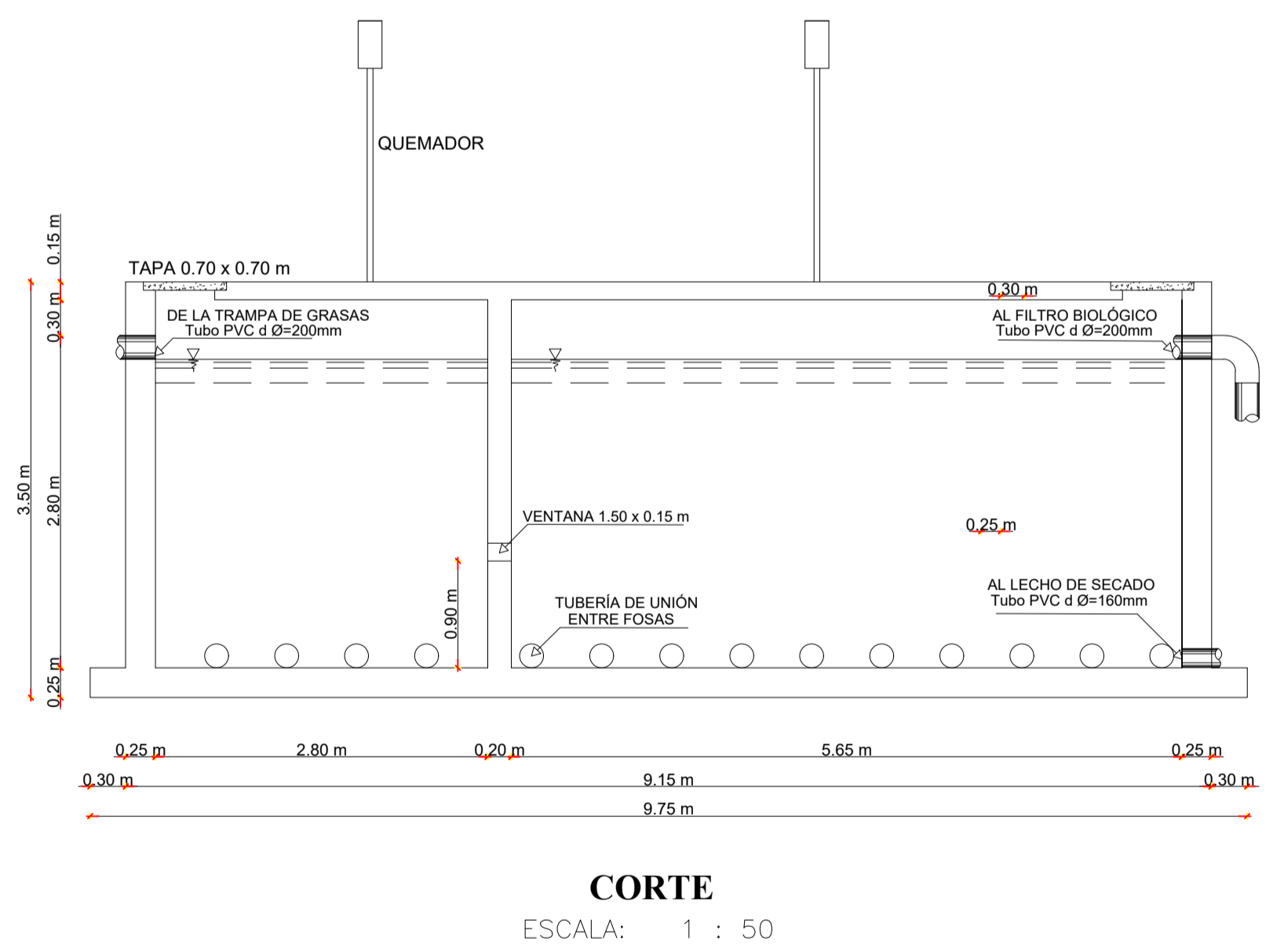
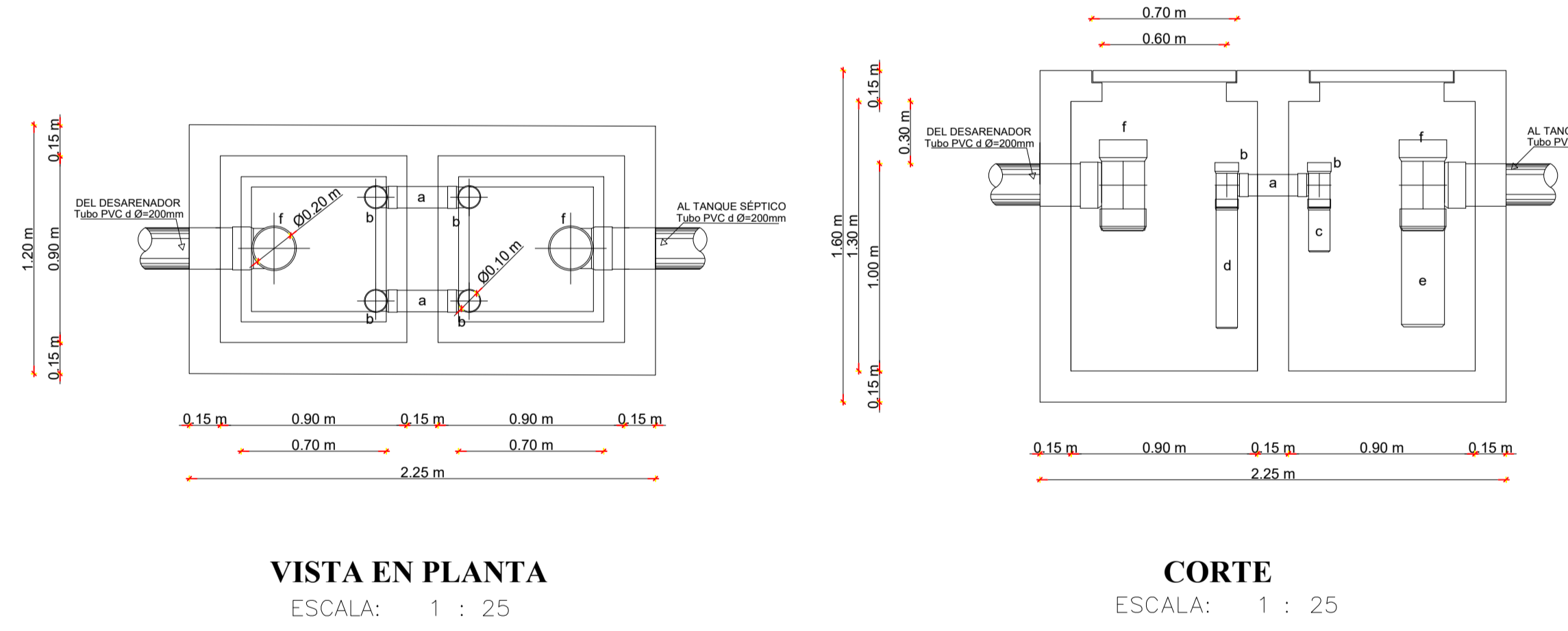
VISTA EN PLANTA PTAR DE PUÑACHIZAG PROPUESTA
ESCALA: 1 : 100

FILTRO DESCENDENTE

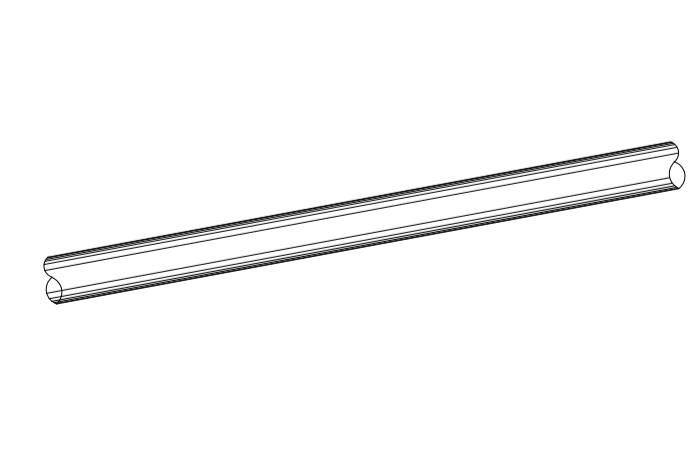
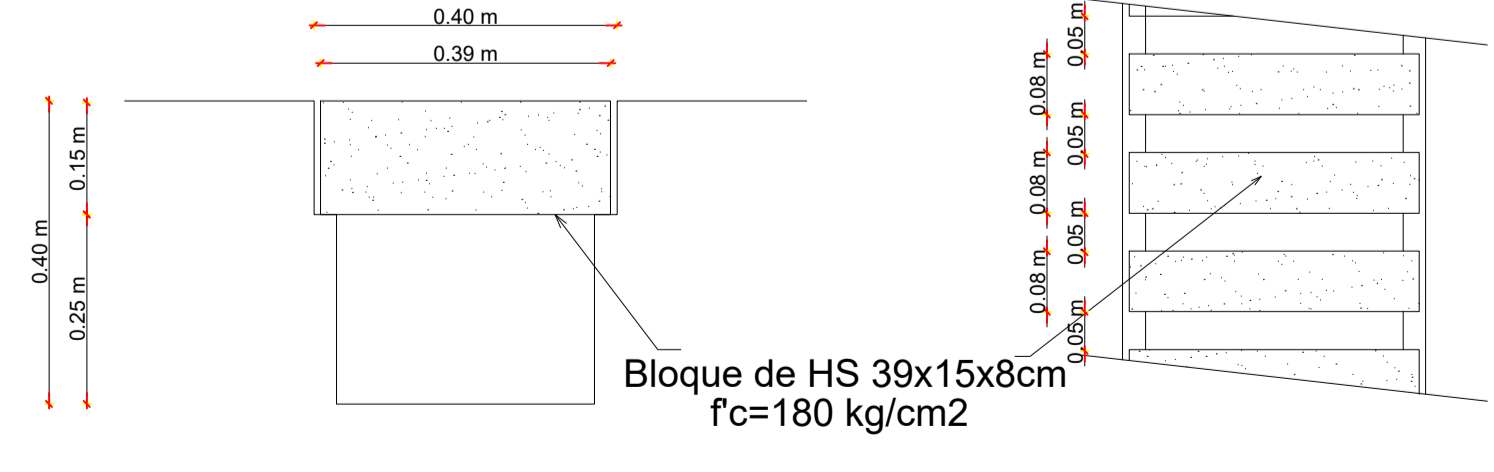
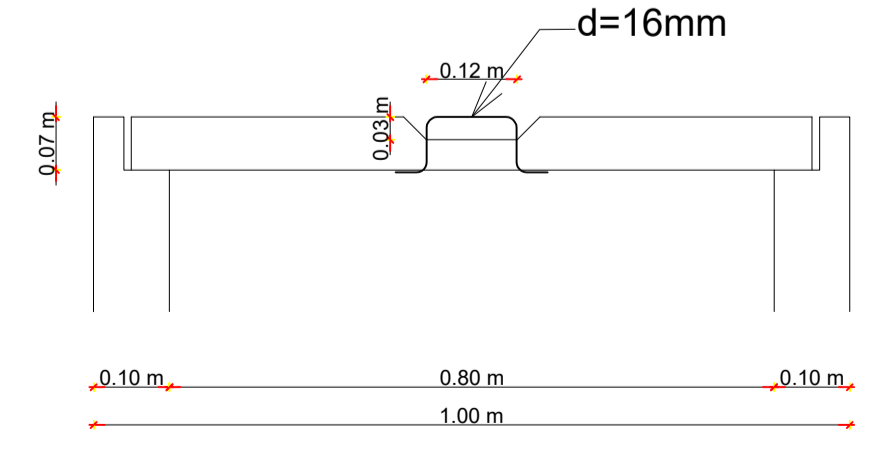
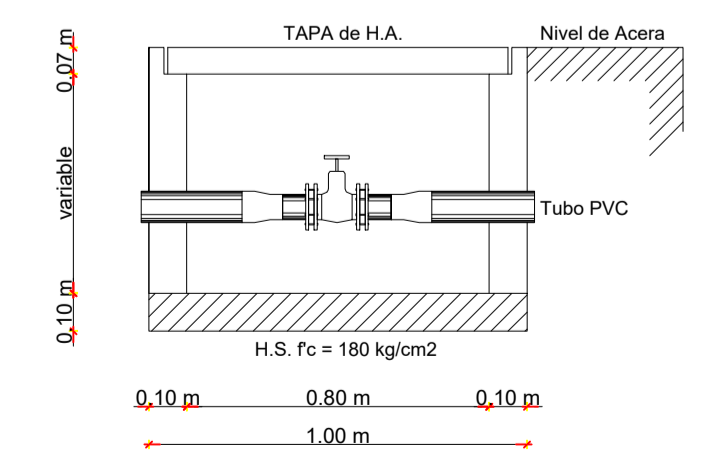


TANQUE SÉPTICO PROPUESTA

TRAMPA DE GRASAS PROPUESTA



DETALLES DE VARIOS ELEMENTOS



VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 50

CAJA DE VÁLVULAS
ESCALA: 1 : 20

DETALLE DE TAPA
ESCALA: 1 : 10

DETALLE DEL CANAL FILTRO DESCENDENTE
ESCALA: 1 : 10

DETALLE DE TUBERÍA
SIN ESCALA

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p>			
<p>PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUÑACHIZAG, CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA</p>			
CONTIENE:	PLANOS Y DETALLES PTAR ACTUAL + PROPUESTA	ESCALA:	FECHA:
		INDICADAS	JULIO / 2021
APROBÓ:	REVISÓ:	ELABORÓ:	LÁMINA:
ING. MG. FIDEL CASTRO TUTOR DE TESIS	ING. GABRIEL VELASTEGUI JEFE AGUA POTABLE Y ALCANT. G.A.D.M.Q.	EGDO. RICARDO CRIJOLLO U.T.A. - F.I.C.M.	02