



UNIVERSIDAD TÉCNICA 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 PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN
PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI”**

AUTOR: Jorge Daniel Pillapa Ponluisa

TUTOR: MEng. Lenin Rafael Maldonado Narváez

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI”**, elaborado por el **Sr. Jorge Daniel Pillapa Ponluisa** portador de la cedula de ciudadanía: C.I 1805256805, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2021

MEng. Lenin Rafael Maldonado Narváez
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Jorge Daniel Pillapa Ponluisa** con C.I: 1805256805, 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 PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI”**, 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



Jorge Daniel Pillapa Ponluisa

C.I: 1805256805

AUTOR

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



Jorge Daniel Pillapa Ponluisa

C.I: 1805256805

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jorge Daniel Pillapa Ponluisa de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI”**,

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Fabián Rodrigo Morales Fiallos

Miembro Calificador

Ing. Mg. Galo Wilfrido Nuñez Aldas

Miembro Calificador

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, mi más grande inspiración, contigo todo, sin ti nada.

A mi padre Jorge y a mi madre Betty por su ejemplo, trabajo arduo, consejos, por su apoyo moral, espiritual y económico. Sobre todo por ser el pilar fundamental en mi vida. Les amo y les amaré eternamente.

AGRADECIMIENTO

A Dios por tantas bendiciones recibidas, quien supo guiarme por el buen camino y me ayudo a vencer mis miedos para seguir adelante en mi vida profesional.

A mis padres por los consejos, su tiempo y su amor en los momentos más complicados.

A mi hermana Cristina, por ser mi gran amiga y apoyo.

A mi alma mater, la Universidad Técnica de Ambato por haberme abierto las puertas y darme el honor de formarme como profesional dentro de sus aulas.

A mis profesores de la Carrera de Ingeniería Civil quienes me brindaron los conocimientos necesarios y en especial al ingeniero Lenin Maldonado por brindarme la asesoría y el tiempo necesario para poder desarrollar el presente proyecto y concluirlo con éxito.

A mis amigos en especial a Erik, Freddy y David por su compañía y apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	4
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	6
1.1.3.1 Agua Residual	6
1.1.3.2 Componentes de las Aguas Residuales	6
1.1.3.3 Tipos de Aguas Residuales	6
1.1.3.4 Características de las aguas Residuales	7
1.1.3.4.1 Características físicas	9
1.1.3.4.2 Características químicas	9
1.1.3.4.3 Características biológicas	9
1.1.3.5 PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales)	10
1.1.3.6 Tratamiento de aguas residuales	10
1.1.3.6.1 Pre-tratamiento	10

1.1.3.6.2	Tratamiento primario.....	10
1.1.3.6.3	Tratamiento secundario	11
1.1.3.6.4	Tratamiento terciario	11
1.1.3.7	Agua residual tratada.....	12
1.1.3.8	Normas para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.....	17
1.1.3.9	Componentes para el tratamiento de agua residual.....	18
1.1.3.9.1	Cribado	18
1.1.3.9.2	Desarenador	19
1.1.3.9.3	Tanque IMHOFF	19
1.1.3.9.4	Filtro Percolador	19
1.1.3.9.5	Lecho de Secado de Lodos	20
1.1.3.9.6	Desinfección	20
1.1.3.9.7	Rendimientos de eliminación (porcentaje de remoción teórica)	20
1.1.3.10	Parámetros de las aguas residuales (Físicos, Químicos y gases).....	21
1.1.3.10.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno – Parámetro Químico (DBO5) ..	21
1.1.3.10.2	Demanda Química de Oxígeno – Parámetro Químico (DQO).....	22
1.1.3.10.3	Potencial Hidrógeno – Parámetro Químico (pH)	22
1.1.3.10.4	Nitrógeno total – Gas (N)	22
1.1.3.10.5	Fósforo total – Gas (P)	22
1.1.3.10.6	Sólidos Suspendidos (SS).....	23
1.1.4	Hipótesis.....	23
1.2	Objetivos	24
1.2.1	Objetivo General	24
1.2.2	Objetivos Específicos.....	24
CAPÍTULO II		25
METODOLOGÍA		25
2.1	Materiales y equipos utilizados	25
2.2	Metodología.....	26
CAPÍTULO III.....		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28

3.1	Análisis y discusión de los resultados	28
3.1.1	FASE 1: Información del sector.....	28
3.1.2.	FASE 2: Recolección de datos	29
3.1.3.	FASE 3: Análisis de laboratorio	33
3.1.4.	FASE 4: Análisis general del funcionamiento de la PTAR.....	37
3.1.4.1.	Reja de entrada (limpieza manual).....	38
3.1.4.2.	Desarenador.....	38
3.1.4.3.	Tanque IMHOFF.....	39
3.1.4.4.	Filtro Percolador.....	39
3.1.4.5.	Lecho de secado de lodos.....	40
3.1.5.	FASE 5: Diagnóstico General de la PTAR	40
3.2	Evaluación de la PTAR de la parroquia El Corazón	45
3.2.1	Diagnóstico Técnico.....	45
3.2.3	Dimensiones actuales de los elementos que conforman la PTAR.....	46
3.2.3.1	Reja de entrada	46
3.2.3.2.	Desarenador.....	47
3.2.3.3.	Tanque Imhoff.....	48
3.2.3.4	Filtro Percolador.....	50
3.2.3.5	Lecho de secado de lodos.....	51
3.2.4	Diagnóstico de funcionamiento teórico actual de la PTAR	52
3.2.4.1	Diagnóstico de funcionamiento del Desarenador (OPS)	52
3.2.4.2	Diagnóstico de funcionamiento del Tanque Imhoff (OPS).....	58
3.2.4.3	Diagnóstico de funcionamiento del Filtro Percolador (Modelo BRUCE Y MERKENS)	62
3.2.4.4	Diagnóstico de funcionamiento del Lecho de secado de lodos (OPS)...	65
3.3	Verificación de Hipótesis.....	67
3.4	Propuesta para el mejoramiento del proceso de tratamiento de la PTAR y los parámetros ambientales.....	68
3.4.1	Diseño del nuevo proceso de tratamiento	69
3.4.1.1	Diseño del Cribado.....	69
3.4.1.2	Diseño del Desarenador	72

3.4.1.3	Diseño del Tanque Imhoff	77
3.4.1.4	Diseño del Filtro Percolador	82
3.4.1.5	Diseño del lecho de secado de lodos.....	85
3.4.1.6	Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	87
3.4.2	Comparación (PTAR actual con la PTAR propuesta)	91
3.5	Operación y mantenimiento del proceso de tratamiento.....	92
3.5.1	Cribado.....	93
3.5.2	Desarenador.....	93
3.5.3	Tanque Imhoff.....	93
3.5.4	Filtro Percolador.....	93
3.5.5	Fafa.....	94
3.5.6	Desinfección.....	94
3.5.7	Lecho de secado de lodos.....	94
CAPÍTULO IV.....		96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		96
4.1	Conclusiones	96
4.2	Recomendaciones.....	98
BIBLIOGRAFÍA		99
ANEXOS		102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas del agua residual y su procedencia.....	7
Tabla 2: Características químicas del agua residual y su procedencia.	8
Tabla 3: Características biológicas del agua residual y su procedencia.	9
Tabla 4: Objetivo de los procesos de pre-tratamiento.	10
Tabla 5: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.	12
Tabla 6: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (continuación)...	13
Tabla 7: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	14
Tabla 8: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (continuación).	15
Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.	16
Tabla 10: Límites de descarga a un cuerpo de agua marina (continuación).	17
Tabla 11: Grado de tratamiento de remoción de contaminantes por procesos unitarios del agua residual.....	21
Tabla 12: Materiales utilizados en la investigación.	25
Tabla 13: Equipos de seguridad utilizados en la investigación.	26
Tabla 14: Resumen de la toma de caudales de Ingreso de la PTAR (lt/s).	30
Tabla 15: Resumen de la toma de caudales de Salida de la PTAR (lt/s).	31
Tabla 16: Resultados de los análisis de agua a la entrada de la PTAR.....	35
Tabla 17: Resultados de los análisis de agua a la salida de la PTAR.	36
Tabla 18: Grado de remoción teórica de contaminantes por procesos unitarios.	42
Tabla 19: Comparación de los resultados del análisis de laboratorio con la normativa (Muestra 1 y 2 a la entrada y salida de la PTAR).	43
Tabla 20: Remoción real de contaminantes (Muestra 1 y 2).	43
Tabla 21: Remoción teórica de contaminantes (Muestra 1 y 2).	44
Tabla 22: Dimensiones de la Reja de entrada.	46
Tabla 23: Dimensiones del Desarenador.	47
Tabla 24: Dimensiones del Tanque Imhoff.	48
Tabla 25: Dimensiones del Filtro Percolador.	50
Tabla 26: Dimensiones del Lecho de secado de lodos.	51
Tabla 33: Dimensiones del Cribado (Propuesta 1).	71
Tabla 38: Dimensiones del filtro anaerobio de flujo ascendente (Propuesta 2).....	91
Tabla 39: Comparación (condición actual vs propuesta).....	92

Tabla 40: Actividades y mantenimiento de la PTAR. 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de los procesos de tratamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	18
Figura 2: Parroquia El Corazón.	28
Figura 3: PTAR (El Corazón – Pangua).	29
Figura 4: Comportamiento de Caudales de ingreso a la PTAR.....	31
Figura 5: Comportamiento de Caudales de Salida de la PTAR.....	32
Figura 6: Medición de caudales de ingreso a la PTAR.....	32
Figura 7: Medición de caudales a la salida a la PTAR.	33
Figura 8: Obtención de muestra a la entrada de la PTAR.	33
Figura 9: Obtención de muestra a la salida de la PTAR.	34
Figura 10: Muestras obtenidas para los análisis de laboratorio.	34
Figura 11: Estado actual de la planta de tratamiento de la parroquia El Corazón (PTAR).....	37
Figura 12: Proceso de tratamiento actual de la PTAR de la parroquia El Corazón..	37
Figura 13: Reja de entrada (PTAR).	38
Figura 14: Desarenador (PTAR).....	38
Figura 15: Tanque IMHOFF (PTAR).....	39
Figura 16: Filtro Percolador (PTAR).....	39
Figura 17: Lecho de secado de lodos (PTAR).....	40
Figura 18: Esquema de remoción real de contaminantes (Muestra 1 y 2).....	44
Figura 19: Esquema de remoción teórica de contaminantes (Muestra 1 y 2).....	45
Figura 20: Diagrama de flujo actual de la PTAR.	46
Figura 21: Vista en elevación de la reja de entrada.	47
Figura 22: Vista en planta del Desarenador.....	47
Figura 23: Vista en elevación del Desarenador.	48
Figura 24: Vista frontal del Desarenador.....	48
Figura 25: Vista en planta del Tanque Imhoff.	49
Figura 26: Vista en elevación del Tanque Imhoff.	49
Figura 27: Vista en elevación del Filtro Percolador.	50
Figura 28: Vista en elevación del Filtro Percolador.	51
Figura 29: Vista en planta del lecho de secado de lodos.	51

Figura 30: Vista en elevación del lecho de secado de lodos.....	52
Figura 31: Valores de sedimentación.....	55
Figura 32: Curvas de comportamiento.....	57
Figura 33: Propuesta para el proceso de tratamiento.....	68
Figura 31: Valores de sedimentación.....	74
Figura 32: Curvas de comportamiento.....	76

RESUMEN

En el presente trabajo experimental se realizó la evaluación con el objetivo de determinar si el agua tratada que se descarga al río cumple con la norma TULSMA 2015 por lo que se inició con el levantamiento de la información de todo el sector en donde está ubicada actualmente la PTAR; se procedió a realizar la recolección de datos de los caudales del afluente y efluente, se realizó el muestreo del agua residual en los puntos de ingreso y salida a la PTAR para el análisis de las características físico-químicas que fueron procesadas en un laboratorio.

Posteriormente se realizó la comparación con los parámetros de descarga de aguas que establece el TULSMA 2015 donde se pudo verificar que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) no cumplen con lo establecido en la normativa vigente, por lo que se optó en buscar una propuesta que permitan mejorar los parámetros mencionados.

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar un análisis según el grado de remoción real para realizar un recalcu de sus propiedades geométricas con el fin de dar un diagnóstico definitivo del estado actual de la PTAR y se comprobó que permiten mejorar el DBO y DQO del agua tratada antes de su descarga final, misma que incluye: cribado, desarenador, tanque inhoff, filtro percolador, fafa, lecho de secado de lodos y una planta de desinfección. Adicionalmente se implementó un plan de operación y mantenimiento que cumpla eficientemente el propósito para el cual fue diseñada dicha PTAR.

Palabras clave: Tanque Imhoof, desarenador, afluente, efluente, fafa, filtro percolador, desinfección.

ABSTRACT

In the present experimental work, the evaluation was carried out in order to determine if the treated water that is discharged into the river complies with the TULSMA 2015 standard, which is why it began with the gathering of the information of the entire sector where the WWTP; Data collection on the effluent and effluent flows was carried out, the residual water was sampled at the entry and exit points to the WWTP for the analysis of the physical-chemical characteristics that were processed in a laboratory.

Subsequently, a comparison was made with the water discharge parameters established by TULSMA 2015 where it was possible to verify that the Biochemical Oxygen Demand (DBO) and the Chemical Oxygen Demand (DQO) do not comply with the provisions of current regulations, for so it was decided to look for a proposal that would allow to improve the mentioned parameters.

With the results obtained, an analysis was carried out according to the degree of actual removal to perform a recalculation of its geometric properties in order to give a definitive diagnosis of the current state of the WWTP and it was found that they allow to improve the BOD and COD of the water treated before final discharge, which includes: screening, sand trap, inhoff tank, trickling filter, fafa, sludge drying bed and a disinfection plant. Additionally, an operation and maintenance plan was implemented that efficiently fulfills the purpose for which said WWTP was designed.

Keywords: Imhoof tank, desander, tributary, effluent, fafa, trickling filter, disinfection.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

Dentro del Programa de las Naciones Unidas se encuentran diversos objetivos para el desarrollo sostenible cuyo propósito es garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Como un llamado universal para proteger el planeta que las personas gocen de paz y prosperidad en un área de sostenibilidad medio ambiental, económica y social. Por otro lado, es fundamental realizar inversiones adecuadas en infraestructura, además, proporcionar instalaciones sanitarias y promover prácticas de higiene. En 2015, aproximadamente 4500 millones de personas no disponían de un sistema de saneamiento administrados de forma segura y 2300 millones carecían incluso de saneamiento básico, sin embargo, está íntimamente relacionado a que 844 millones de personas carecen de agua potable básica por lo que representa que el 80% de las aguas residuales se vierten en vías fluviales sin un tratamiento adecuado provocando estrés hídrico a más de 2 mil millones de personas con una proyección en aumento [1].

Últimamente, en a nivel mundial el manejo de las diversas aguas residuales se lo ha venido haciendo de forma incorrecta debido a lo sofisticado y costoso de las redes del constante monitoreo y los equipos necesarios para obtener datos de alta calidad para valorar los efectos de las diversas sustancias tóxicas vertidas al ambiente. Hay que tener en cuenta que el resultado es una merma sustancial de la calidad del agua por lo que de alguna manera habrá menor disponibilidad para los usos humanos así también para los servicios ambientales necesarios para el sostenimiento de la vida en el planeta [2].

En cuestión a los servicios de saneamiento, en Ecuador no existen datos específicos y exactos en niveles de cobertura de alcantarillado que permitan dar información real. Según la Organización Panamericana de la salud (OPS) se estima en la actualidad que en América Latina el 13.7% de las aguas servidas están conectadas a redes de alcantarillado con tratamiento. De acuerdo a estas estimaciones la situación se vuelve más preocupante teniendo en cuenta que un gran número de plantas de tratamiento se encuentran abandonadas o funcionando precariamente [3].

Hay que tener en cuenta que varios de los problemas relacionados con la salud se deben a la excesiva contaminación hídrica, misma que se debe controlar por medio de la implementación de sistemas de saneamiento que permitan reducir los diversos contaminantes presentes en el agua residual. Por otro lado, hay que seleccionar el proceso de tratamiento adecuado y óptimo, que sea eficiente y brinde la calidad de agua requerida que se encuentren dentro de los parámetros ambientales para su posterior descarga en el cuerpo dulce (ríos) ya que en la mayoría de las ocasiones será reutilizada para la realización de otras actividades aguas abajo [4].

Según la SENAGUA en su base de datos, indican que el total del líquido vital utilizado en el consumo humano en Ecuador es alrededor del 70%, mismo que es canalizado mediante sistemas de alcantarillado, de este porcentaje apenas se logra tratar el 55.8% que es agua residual y el 44.2% se descarga directamente en pozos sépticos, canales o a su vez son vertidos directamente en los ríos del país. La población rural (o población con poco desarrollo) no cuentan con sistemas de depuración adecuados, provocando que su grado de contaminación sea elevado y perjudiquen las cuencas hidráulicas del país [5].

La Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que se encuentra ubicada en el Corazón, ha venido presentando problemas en los últimos años después de su construcción por lo que su funcionalidad ha sido de forma parcial y su proceso de tratamiento sea deficiente, esto hace que la PTAR no remueva los diversos contaminantes que por defecto traen las aguas residuales que ingresan a la planta.

A través del monitoreo realizado en los distintos puntos por donde se encuentra el sistema de alcantarillado, se pudo verificar que el agua residual que ingresa a la PTAR no solo es agua residual doméstica sino que además hay ingreso de agua proveniente de las aguas lluvia por lo que de alguna forma han afectado el proceso de tratamiento y haciendo que a su vez sobrepase el caudal de diseño para la que fue diseñada dicha planta.

Por otro lado hay que tener en cuenta que desde que se construyó y entró en funcionamiento la PTAR, nunca se realizó una evaluación completa de toda la planta de forma particular, desde su funcionamiento en cada etapa que comprende la planta ni del estado físico del lugar. En los últimos años las evaluaciones que se han realizado

en la toma de muestras del agua tratada, se las han realizado con un laboratorio particular por lo que ciertos parámetros en los resultados no están cumpliendo los parámetros ambientales de la “Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluente”

Es por esto que es necesario realizar un análisis y evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la parroquia el Corazón para determinar sus distintos grados de eficiencia además de tener un control para asegurar el correcto funcionamiento que garantice las condiciones óptimas del agua tratada hasta su descarga en el cuerpo receptor que es el río y por ende minimizar el impacto ambiental.

1.1.2 Justificación

En los últimos años el estudio y evaluación de las plantas de tratamiento de aguas residuales ha sido de gran importancia considerando la situación ecológica y ambiental debido al crecimiento poblacional que está directamente relacionado con el uso doméstico, agrícola, industrial y pluvial. La problemática que actualmente presentan las PTAR debido al inapropiado tratamiento de aguas residuales son considerables, ya que está ligada a las condiciones de salubridad de la población y por ende a problemas sociales como la pobreza y el incumplimiento de los derechos humanos por parte de las autoridades pertinentes [6].

Una de las principales causa por la que existe deficiencia y descuido en el procedimiento del tratamiento de aguas residuales en la mayoría de países en Latinoamérica es por el alto costo de operación y mantenimiento [7] . En América Latina se ha logrado avances considerables, sin embargo, el 88% de la población urbana cuenta con servicios de saneamiento mejorado y aproximadamente el 40% de dichos servicios no se encuentran ligados a sistemas de alcantarillado [8].

La SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) en el Ecuador, se encarga de reducir los efectos de los fenómenos hídricos relacionados con aspectos ambientales para recuperar y conservar las fuentes de agua en todo el país, además de evitar la contaminación y garantizar la calidad de las reservas de agua para el apto consumo humano [5].

La población de la parroquia El Corazón se dedica principalmente a la agricultura y producción de productos tanto de la sierra como de la costa, tales como la panela y el aguardiente, mismo que es comercializado a varias provincias del Ecuador. Entre la producción de dichos productos y las necesidades básicas de la población se tiene un gran consumo de agua que es destinada a dos PTAR ubicadas al Sur del pueblo. Además, las actividades agrícolas generan considerables cantidades de agua residual que contienen varios contaminantes que son productos de las actividades que se realizan a diario que si no se tratan adecuadamente pueden causar altos índices de afectación en la salud de las personas y el medio ambiente [9].

La planta de tratamiento donde el agua residual va a ser tratada, debe encontrarse en óptimas condiciones constituida por un adecuado proceso de tratamiento donde tiene

que encargarse de remover en su totalidad los diversos constituyentes del agua residual ya sea por su composición física, química y biológica. Por otro lado, si la planta no es capaz de tratar el caudal para el que inicialmente fue diseñada, puede provocar el colapso de la misma y aumentar el índice de contaminación de lo que originalmente llego a la planta [10].

Hay que tener en cuenta que es de mucha importancia el monitoreo y mantenimiento constante de la PTAR para garantizar el adecuado tratamiento de aguas residuales y aportar en la reducción del enfermedades y la mejora de la calidad de vida de la población [11].

La población tiene derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado ecológicamente que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, que se menciona en el Título II, capítulo segundo de la sección segunda, art 14 de la Constitución del Ecuador [5].

Es por eso que el presente proyecto servirá para evaluar todo el funcionamiento de la PTAR y plantear una solución para que los habitantes gocen del derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado ecológicamente garantizando la sostenibilidad y el buen vivir de la parroquia El Corazón perteneciente al cantón Pangua de la provincia de Cotopaxi.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Agua Residual

Las Aguas Residuales a lo largo del tiempo también se han venido conociendo por el término de aguas servidas, aguas fecales o inclusive aguas negras, esto debido a la coloración oscura. Las aguas residuales prácticamente son desechos líquidos y residuos sólidos que son producto de las actividades diarias que por lo general son provenientes de industrias, residencias, instituciones (públicas y privadas), etc. Dichos productos son recolectados por los diferentes sistemas de alcantarillado que posterior se lo conduce a la PTAR para disminuir su nivel de contaminación o se los descarga en cuerpos de agua locales sin ningún tratamiento. Por lo tanto las aguas residuales tienen varias sustancias tanto físicas, químicas y biológicas que son dañinas para el hombre, animales y para el medio ambiente [12].

1.1.3.2 Componentes de las Aguas Residuales

Las aguas residuales en general contienen el 1% de materia sólida en suspensión (SSS) y el 99% está conformada por agua, la materia solida puede ser de tipo orgánico e inorgánico. El material solido inorgánico este contenido en un 0.3% (conformado por los siguientes componentes: fosforo, nitrógeno, cloruro, sulfatos y ciertas sustancias toxicas), en tanto, el material orgánico constituye un 0.7%. Los principales componentes son: desechos orgánicos, microorganismos patógenos, sustancias orgánicas, sustancias inorgánicas, sustancias radio activas, vegetales, calor y sedimentos. Además, las aguas residuales tienen una composición muy variable debido a los varios factores que lo afectan de cierta forma. Es muy importante hacer la cuantificación dichos componentes que permita establecer un sistema de tratamiento adecuado para garantizar la calidad del agua tratada que disminuirá el impacto ambiental y el riesgo para la salud en caso de ser reutilizada [13].

1.1.3.3 Tipos de Aguas Residuales

- **Aguas residuales domésticas o urbanas.-** son de procedencia de las heces y orina humana, así también como de la cocina, limpieza y el aseo personal que tienen organismos patógenos, sólidos suspendidos y sólidos sedimentables.

- **Aguas residuales industriales.-** son producto de los desechos de procesos industriales o manufactureros, su composición es variable y dependerá del tipo de industria.
- **Aguas blancas.-** son aguas procedentes de la atmósfera o en su vez provienen del riego, limpieza de calles y parques públicos que pueden tener químicos, metales o una considerable cantidad de sólidos suspendidos.
- **Aguas residuales agrícolas.-** son de procedencia de las diferentes actividades agrícolas que se realizan específicamente en las zonas rurales que traen consigo componentes químicos que son producto del uso de abonos orgánicos y fertilizantes.

El tratamiento para estos tipos de aguas residuales se lo hace con el fin de reducir la contaminación, evitar riegos para la salud y el medio ambiente así también como para reducir costes energéticos [14].

1.1.3.4 Características de las aguas Residuales

Las aguas residuales están conformadas por constituyentes físicos, químicos y biológicos, es de mucha importancia saber los contaminantes de cara al tratamiento de las aguas residuales y poder aplicar métodos de análisis. Hay que tener en cuenta que la contaminación que tiene el agua residual no va a ser la misma en la mayoría de los casos sino que depende de la procedencia y las características como se puede observar en la Tabla 1 [10].

Tabla 1: Características físicas 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.
	SÓLIDOS	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
	TEMPERATURA	Aguas residuales domésticas e industriales.

Fuente: METCALF & EDDY [10]

Tabla 2: Características químicas del agua residual y su procedencia.

CARACTERÍSTICAS		PROCEDENCIA	
QUÍMICAS	ORGÁNICOS	Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		Grasas animales	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		Pesticidas	Residuos agrícolas.
		Fenoles	Vertidos industriales.
		Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		Compuestos orgánicos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		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.
		Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía.
		Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
		Azufre	Agua de suministro, aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	GASES	Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
Metano		Descomposición de residuos domésticos.	
Oxígeno		Agua de suministro, infiltración de agua superficial.	

Fuente: METCALF & EDDY [10]

Tabla 3: Características biológicas del agua residual y su procedencia.

CARACTERÍSTICAS		PROCEDENCIA	
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: METCALF & EDDY[10]

1.1.3.4.1 Características físicas

Este tipo de características son consideradas las más importantes del agua residual ya que son el contenido total de sólidos, por ende engloba las materias sedimentables, en suspensión, disuelta y la materia coloidal. Los sólidos totales pueden ser filtrables y no filtrables.

1.1.3.4.2 Características químicas

Este tipo de características involucran tanto la materia orgánica, materia inorgánica así también como los gases que son producidos por dicha materia. Aproximadamente el 75% de los sólidos en suspensión y el 40% que corresponde a los sólidos filtrables de las aguas residuales son de naturaleza orgánica. Por otro lado los constituyentes inorgánicos afectan de forma considerable a los usos de agua por lo que es de mucha importancia examinar la naturaleza de algunos de ellos como son el nitrógeno y fósforo.

1.1.3.4.3 Características biológicas

En cuanto a las características biológicas se analizan los principales grupos de microorganismos, organismos patógenos y bacterias presentes en las aguas residuales que de cierta forma trabajan en la descomposición y estabilización de la materia orgánica [6].

1.1.3.5 PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales constituyen un conjunto de actividades cuyo fin es minimizar o eliminar de manera permanente el grado de contaminación de las aguas provenientes del sistema de alcantarillado. Además, es una instalación que de cierta forma cumple el objetivo de reducir los contaminantes y se vuelva apta para verterla al cauce de los ríos. En el caso de ser aguas urbanas por lo general existe un pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario [15].

1.1.3.6 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales que son recogidas a través del sistema de alcantarillado deben ser conducidas a cuerpos de agua receptores para que tenga un cierto grado de tratamiento de los contaminantes contenidos en dichas aguas para ser vertido, respetando la legislación, parámetros y normas reguladoras de la calidad del agua existentes sin causar impactos en el ecosistema o pueda ser reutilizado en diferentes actividades [10].

1.1.3.6.1 Pre-tratamiento

En esta fase del tratamiento, el objetivo primordial es eliminar los sólidos gruesos, finos, aceite y grasas con el fin de proteger a las estructuras o minimizar las condiciones indeseables de la apariencia estética de las PTAR.

Tabla 4: Objetivo de los procesos de pre-tratamiento.

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Preaeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: Sistema de tratamiento de Aguas Residuales [16]

1.1.3.6.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario básicamente contempla el uso de varias operaciones físicas como la sedimentación, desbaste y la eliminación parcial de los sólidos que se encuentran en suspensión o sedimentables, de este modo se reduce la contaminación

biodegradable presentes en el agua residual. Es decir, en dicho tratamiento no solamente remueve la materia que incomoda sino que también elimina una pequeña carga orgánica que en términos estadísticos está entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y 65% de sólidos suspendidos [13].

1.1.3.6.3 Tratamiento secundario

El fin de esta fase del tratamiento es eliminar la mayor parte partículas coloidales (materia orgánica) del agua residual, mediante procesos biológicos y químicos. Cuando el agua residual ingresa al filtro biológico donde están los lodos activados de carga microbiana, estos se degradan y se transforman en materia orgánica de forma aeróbica y anaeróbica. En los tratamientos biológicos en este tratamiento tienen una remoción de la DBO que va del 85% hasta el 95%, están conformados por:

- Filtración biológica.
- Lodos activados.
- Lagunas: estabilización, aereada.
- Otros: anaeróbicos, oxígeno puro y discos rotatorios [13].

1.1.3.6.4 Tratamiento terciario

Este proceso tiene como objetivo complementar los procesos indicados anteriormente mediante el cual se logra eliminar aquellos componentes que no fueron eliminados con el tratamiento secundario, es decir, sirven para lograr efluentes más puros eliminando los nutrientes, excesos de materia orgánica y compuestos tóxicos. Los compuestos generalmente removidos son:

- Bacterias y virus.
- Sólidos totales y disueltos.
- Fosfatos y nitratos.
- Huevos y quistes de parásitos.
- Algas.
- Sustancias tenso activas.
- Radionúclidos [13].

1.1.3.7 Agua residual tratada

El agua proveniente del tratamiento se la denomina agua residual tratada por lo que dicha agua es descargada en efluentes donde dicha agua necesariamente debe cumplir con los parámetros establecidos por la ley. Para Ecuador netamente existe una normativa vigente que se encuentra establecida en el TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) correspondiente al año 2015.

Las descargas a los diferentes sistemas de alcantarillado que generalmente provienen de actividades que se encuentran sujetas a las regularizaciones pertinentes, deben cumplir con los parámetros y valores establecidos en la Tabla 5, 6, 8, 9 y 10, que se refieren a los valores medios diarios de los límites de descarga en efluentes, entre los que se encuentran:

- Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.
- Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Límites de descarga a un cuerpo de agua marina [17].

Tabla 5: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Parámetros	Simbología	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	70.0
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	1.0
Cinc	Zn	mg/l	10.00
Cloro activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0.1
Cobalto total	Co	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1.0

Fuente: TULSMA 2015 [17]

Tabla 6: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (continuación).

Parámetros	Simbología	Unidad	Límite máximo permisible
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 oxígeno	DBO5	mg/l	250.0
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	500.0
Dicloreotileno	Dicloroetanol	mg/l	1.0
Fósforo total	P	mg/l	15.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20.0
Hierro total	Fe	mg/l	25.0
Magnesio total	Mn	mg/l	10.0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	60.0
Organofosforados	Especies totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.5
Plomo	Pb	mg/l	0.5
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6 a 9
Selenio	Se	mg/l	0.5
Sólidos sedimentables	SD	mg/l	20.0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	220.0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600.0
Sulfatos	SO4-2	mg/l	400.0
Sulfuros	S	mg/l	1.0
Temperatura	°C	mg/l	<40.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2.0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1.0

Fuente: TULSMA 2015 [17]

Tabla 7: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Simbología	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30.0
Alkil y grasas		mg/l	no detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo	mg/l	0.1
Cloruros	Cl	mg/l	1000.0
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000.0
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100.0
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200.0
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F	mg/l	5.0

Fuente: TULSMA 2015 [17]

Tabla 8: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (continuación).

Parámetros	Simbología	Unidad	Límite máximo permisible
Fósforo total	P	mg/l	10.0
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	50.0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6 a 9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130.0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600.0
Sulfatos	SO ₄ -2	mg/l	1000.0
Sulfuros	S	mg/l	0.5
Temperatura	°C	mg/l	Condición natural±3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

Fuente: TULSMA 2015 [17]

Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.

Parámetros	Simbología	Unidad	Límite máximo permisible	
			Descargas en zona de rompientes	Descarga en emisarios submarinos
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30.0	30.0
Arsénico total	As	mg/l	0.5	0.5
Aluminio	Al	mg/l	5.0	5.0
Cianuro total	CN-	mg/l	0.2	0.2
Cinc	ZN	mg/l	10.0	10.0
Cobre	Cu	mg/l	1.0	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000	2000
Color	Color verdadero	u	Inapreciable: 1/20	Inapreciable: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5	0.5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2	0.2
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	200	400
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	400	600

Fuente: TULSMA 2015 [17]

Tabla 10: Límites de descarga a un cuerpo de agua marina (continuación).

Parámetros	Simbología	Unidad	Límite máximo permisible	
			Descargas en zona de rompientes	Descarga en emisarios submarinos
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.01	0.01
Nitrógeno total Kdedahl	N	mg/l	40	40
Potencial de hidrógeno	hH		6 a 9	6 a 9
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	250	250
Sulfuros	S	mg/l	0.5	0.5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	50	50
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	ug/l	100	100
Carbonatos	Especies totales	mg/l	0.25	0.25
Temperatura	°C		<35	<35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5	0.5

Fuente: TULSMA 2015 [17]

1.1.3.8 Normas para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

- Se prohíbe la descarga de los diferentes residuos líquidos sin tratar que provienen del lavado de todo tipo de vehículos que contengan agroquímicos o en su vez sustancias tóxicas.
- Se prohíbe la descarga de un sistema combinado que pueda bloquear los colectores o accesorios.

- Se prohíbe la descarga de los residuos provenientes del petróleo, gasolina, hidrocarburos o aceites usados [17].

1.1.3.9 Componentes para el tratamiento de agua residual

Una planta de tratamiento de aguas residuales convencional están conformada por diferentes elementos hidráulicos que por lo general tienen una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen la función principal de tratar el agua cruda para su posterior descarga como se puede apreciar en la Figura 1. Hay que tener en cuenta que cada uno de los elementos que conforman una PTAR, requieren esencialmente de un mantenimiento periódico para su óptimo funcionamiento.

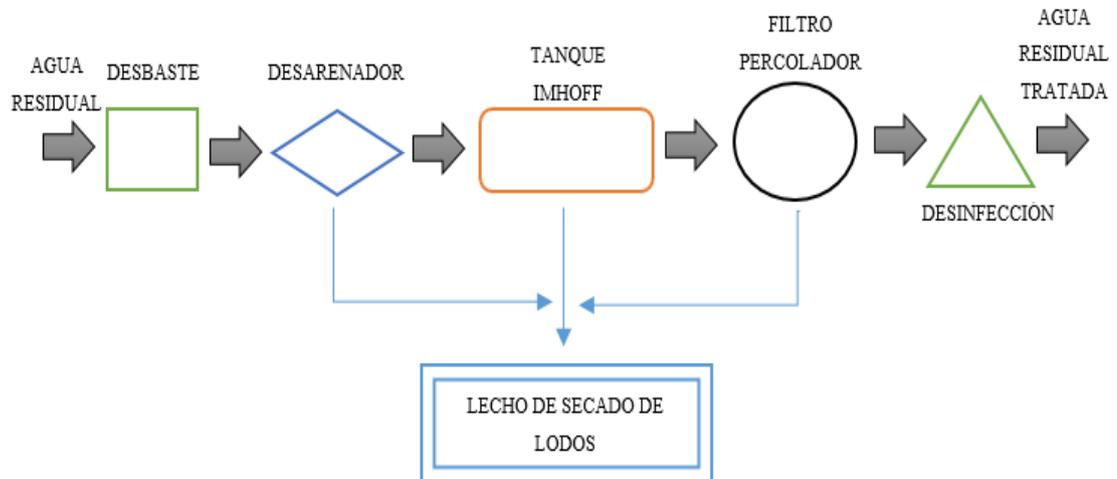


Figura 1: Esquema de los procesos de tratamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Fuente: El autor

1.1.3.9.1 Cribado

Esta operación básicamente se encarga de eliminar los diferentes sólidos de gran tamaño como las partículas que arrastra el agua, por lo general el equipo que se encarga de retener estos elementos habitualmente son rejas por la que va a circular el agua, específicamente son construidas con barras metálicas que van desde los 6 mm en adelante con un espaciado de 10 a 100 mm. Para limpiar todos los residuos retenidos

por dicha rejilla se utilizan rastrillos que se accionan fácilmente de una forma mecánica [18].

1.1.3.9.2 Desarenador

Esta operación se usa para remover arena, grava, partículas y otros materiales con peso específico mayor con respecto a los sólidos orgánicos o sólidos pesados que tengan una velocidad de asentamiento considerable presentes en las aguas residuales. Este sistema es de mucha importancia ya que ayuda a proteger al equipo mecánico del desgaste y además no permite el ingreso de partículas voluminosas a las tuberías y canales [18].

1.1.3.9.3 Tanque IMHOFF

El tanque IMHOFF tiene como finalidad la remoción de los sólidos que se encuentran suspendidos en la superficie de las aguas residuales eliminando así del 40 al 50% de los sólidos suspendidos y reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno un 25 al 35%, tiene una operación que es simple y no requiere de partes que sean mecánicas, sin embargo, es necesario que para que las aguas residuales entren en dicho tanque es importante que hayan pasado por los procesos de tratamiento preliminar (desbaste y remoción de arena). Es un sistema de tratamiento anaerobio. Por otro lado, al tener las paredes inclinadas en el fondo hacen que los sólidos sedimentables resbalen y posteriormente pasen a la cámara de digestión por medio de la ranura que se encuentra en el fondo. Los lodos que se encuentran acumulados en el tanque se deben extraer periódicamente y dirigidos al lecho de secado [18].

1.1.3.9.4 Filtro Percolador

El filtro percolador consisten en un soporte fijo que no sumergido sobre una cama de material granular o sintético y tienen como función principal reducir cierta carga orgánica presente en las aguas residuales provenientes de un proceso de sedimentación para evitar de alguna forma la tupición del relleno que soporta la biomasa. Es importante la limpieza periódica de dicho tanque para que pueda funcionar correctamente y evitar una sobrecarga al filtro [18].

1.1.3.9.5 Lecho de Secado de Lodos

Los lechos de secado de lodos básicamente son tanques poco profundos conformados con arena y grava en los que se depositan los lodos obtenidos en el proceso de la PTAR, dicho tanque se basa en el drenar los líquidos a través de un medio filtrante (arena) y posteriormente la evaporación del agua que se encuentra en la superficie. El lecho por lo general es de forma rectangular y el proceso de secado depende fundamentalmente de las condiciones climáticas por lo que varían los días de secado, una vez que se seca el material se procede a retirar para su estabilización en compostaje o en su vez puestos en el relleno sanitario [18].

1.1.3.9.6 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción de las bacterias y organismos que causan enfermedades provenientes de los residuos fecales mediante la aplicación de un agente de desinfección. De los desinfectantes más corrientes por lo general el cloro es el más utilizado además del bromo y el yodo. Es de mucha importancia que los desinfectantes sean muy seguros en el momento de su manejo y aplicación así también como la concentración en la aplicación sea cuantificable y medible [18].

1.1.3.9.7 Rendimientos de eliminación (porcentaje de remoción teórica)

En los sucesos en los que no se conozca la aplicabilidad de un determinado proceso en ciertas condiciones se debe llevar un estudio en una PTAR piloto con el objetivo de determinar un rendimiento aproximado para la obtención de datos y posteriormente abordar el proyecto a una escala mucho más apreciable y real. El rendimiento de una PTAR es la medida que sirve como base en el diseño donde se determinaran los porcentajes de eliminación que se puede alcanzar para los contaminantes que son más importantes. En la Tabla 11, se puede ver los respectivos datos de los rendimientos de las operaciones y los procesos unitarios que se emplean en los tratamientos (Primario y Secundario) [10].

Tabla 11: Grado de tratamiento de remoción de contaminantes por procesos unitarios del agua residual.

Unidades de tratamiento	Rendimiento de eliminación del constituyente, porcentaje.					
	DBO	DQO	SS	Pb	N-Org c	NH3-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	60-80	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: METCALF & EDDY [10]

1.1.3.10 Parámetros de las aguas residuales (Físicos, Químicos y gases)

A continuación, se describe de forma detallada los parámetros que se utilizaron para evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

1.1.3.10.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno – Parámetro Químico (DBO5)

La Demanda bioquímica de Oxígeno es uno de los parámetros orgánicos más ampliamente empleados. La determinación de dicho parámetro está relacionado directamente con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos presentes en el agua residual en el proceso de oxidación de la materia orgánica, necesariamente va a necesitar de una cierta cantidad de oxígeno y de esta manera poder determinar el nivel de contaminación que tiene el agua residual. El tiempo que necesita para la oxidación bioquímica es de más de 20 días con una oxidación del 95% al 99%, por otro lado, a los cinco días de haber realizado los ensayos respectivos se puede

obtener una oxidación que va del 60% al 70%. Todo lo dicho anteriormente se lo puede lograr por la acción bioquímica anaerobia [10].

1.1.3.10.2 Demanda Química de Oxígeno – Parámetro Químico (DQO)

Este parámetro se lo emplea para medir cierto contenido de materia orgánica presente en las aguas residuales. Por lo general se emplea un agente químico oxidante para la determinación del equivalente de oxígeno que tiene la materia orgánica que posteriormente se puede llegar a oxidarse. El ensayo se debe realizar a elevadas temperaturas para facilitar la oxidación de los compuestos orgánicos, Existen varias formas. En la mayoría de los casos el ensayo de DQO suele ser mayor que su respectivo DBO [10].

1.1.3.10.3 Potencial Hidrógeno – Parámetro Químico (pH)

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro que es de mucha importancia para aguas residuales debido a que es una medida del grado de alcalinidad o acidez de una muestra de agua, la importancia de este parámetro radica en la determinación de la acidez que por lo general tiende a ser muy corrosiva la cual puede atacar químicamente a los sistemas de distribución de las PTAR provocando incrustaciones apreciables [10].

1.1.3.10.4 Nitrógeno total – Gas (N)

El nitrógeno total es la suma de distintos tipos de nitrógenos, sin embargo es un elemento de suma importancia para el crecimiento de microorganismos y plantas puesto que para que sea necesario el control del crecimiento de las algas en las aguas residuales receptoras es vital la presencia o eliminación del nitrógeno antes del vertido. Para que el ciclo en la planta de tratamiento sea óptimo es vital conocer las cantidades de nitrógeno en cada fase del ciclo de las PTAR [15].

1.1.3.10.5 Fósforo total – Gas (P)

El fósforo es un elemento que también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos, además es un elemento escaso presente en el agua que si se presenta en exceso tiene la capacidad de reducir la calidad del agua pero en una controlada cantidad resulta beneficioso evitando el crecimiento excesivo de algas en los efluentes del agua residual [15].

1.1.3.10.6 Sólidos Suspendidos (SS)

Los sólidos en suspensión pueden llegar a dar lugar al desarrollo de los denominados depósitos de fangos, constituyen los residuos que no son filtrables, su naturaleza generalmente es orgánica y no es capaz de filtrarse o que se precipiten por gravedad. Los sólidos suspendidos presentes en el agua residual tienen la posibilidad de obstaculizar las superficies de infiltración del sistema, por lo que es vital su remoción [10].

1.1.4 Hipótesis

Hipótesis de trabajo

La planta de tratamiento de aguas residuales pertenecientes a la parroquia El Corazón del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi no se encuentra funcionando de forma correcta en sus condiciones actuales.

Hipótesis nula

La planta de tratamiento de aguas residuales pertenecientes a la parroquia El Corazón del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi se encuentra funcionando de forma correcta en sus condiciones actuales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia El Corazón, Cantón Pangua, Provincia de Cotopaxi.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Analizar los procesos de tratamiento de la planta, desde el ingreso del agua cruda sin tratamiento previo hasta su descarga en el cuerpo dulce.
- Evaluar el proceso de tratamiento y compararlo con el cumplimiento de la norma TULSMA 2015.
- Elaborar un modelo de solución que permita impulsar la operación de la PTAR y mejorar los parámetros ambientales.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Materiales y equipos utilizados

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación, fueron de vital importancia para el desarrollo de cada una de las actividades, siendo un aporte necesario para la toma y recolección de datos, obteniendo así resultados más coherentes.

Tabla 12: Materiales utilizados en la investigación.

MATERIAL	CANTIDA	UNIDAD
Cronómetro	1	u
Cuaderno	1	u
Balde 20 lt	2	u
Flexómetro	1	u
Calculadora	1	u
Botella plástica	6	u
Cámara	1	u
Computadora	1	u
Impresora	1	u

Fuente: El autor

Los equipos de protección personal sin duda jugaron un papel muy importante en el desarrollo de las actividades de campo, ya que previenen de forma directa el contagio de algún tipo de enfermedad que por lo general puede estar presentes en el agua residual. El equipo de seguridad utilizado en la investigación se puede apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13: Equipos de seguridad utilizados en la investigación.

EQUIPO	CANTIDAD	UNIDAD
Mascarilla	7	u
Gafas protectoras	1	u
Guantes de látex	7	Par
Mandil	1	u
Botas de seguridad	1	Par
Alcohol	2	lt

Fuente: El autor

2.2 Metodología

El presente proyecto tiene como enfoque realizar la evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), donde se lo realizará por medio de los siguientes pasos:

FASE 1: Información del sector

En la investigación de campo hay que identificar de manera visual la localización, los componentes y características propias de la estructura así también como la obtención de datos para la presente investigación se sustente en visitas de campo a la PTAR.

FASE 2: Recolección de datos de caudales de Afluentes y Efluentes.

Medición de los caudales de entrada y salida para realizar un muestreo de agua residual en los horarios de máxima demanda, así también para determinar las horas pico de los días en los que hay un mayor caudal.

FASE 3: Análisis de laboratorio de las características físico-químicas del agua.

Investigación de laboratorio donde se realiza el análisis del tipo de calidad de agua tanto del caudal de entrada como el caudal de salida de la PTAR que permite determinar la composición física, química y biológica para identificar la remoción de contaminantes del agua residual. Se obtiene varios componentes que posee en agua residual como son: DBO5, DQO, Nitrógeno, Fósforo, aceites y grasas, detergentes, etc.

FASE 4: Análisis general del funcionamiento de la PTAR

Análisis y verificación del funcionamiento donde hay que comparar los análisis obtenidos en laboratorio con la norma Tulsma para descargas a un cuerpo de agua dulce (ríos).

FASE 5: Diagnóstico General de la PTAR

Diagnóstico de la construcción hidráulica existente (PTAR) donde hay que identificar que parte de la estructura no se encuentra funcionando correctamente para plantear un modelo de solución donde permita mejorar los parámetros ambientales y los caudales de descarga que van directamente al cuerpo dulce.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 FASE 1: Información del sector

El área de estudio para la investigación es la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón, ubicada en el cantón Pangua provincia de Cotopaxi. Tiene una extensión de 714,90 km² y cuenta con una población de 22289 habitantes aproximadamente. Pangua está ubicado al Sur Occidente de la provincia de Cotopaxi y tiene un clima cálido y templado con una temperatura media anual de 20° C. La parroquia El Corazón se encuentra a 2000 msnm aproximadamente y limita al Norte con el cantón Pujilí, al Sur con la provincia de Bolívar, al este con el cantón Pujilí y la parroquia de Pinllopata y al Oeste con las parroquias Ramón Campaña y Moraspungo. Por otro lado, el relieve de la parroquia está conformada por colinas medias en la parte central y en la parte sur por relieves de forma heterogénea con pendientes que varían y oscilan entre el 10% y 20%. La actividad económica a la que se dedica dicha parroquia es a la producción de: frejol, maíz, trigo, cebada, arveja, mora, caña, papa, oca y habas.



Figura 2: Parroquia El Corazón.

Fuente: El autor.

La parroquia de El Corazón en el sector urbano cuenta con agua para alrededor de 1436 habitantes que según estadísticas municipales, el 24% de la parroquia dispone de servicios de alcantarillado que son conducidas hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales para descargas de agua residual domésticas y el 76% utiliza letrinas

o cualquier otro tipo de disposición. La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada exactamente aguas abajo de la parroquia El Corazón, actualmente dicha planta se encuentra en funcionamiento y fue puesta en operación en el año 2014 por el GAD Municipal de Pangua y no se encuentra cumpliendo la función total para la que fue diseñada y construida que es la desinfección de las aguas residuales.

La PTAR mencionada cuenta con diversos procesos unitarios para el tratamiento de las aguas residuales en lo que consta: Rejilla de entrada, Desarenador, Tanque Imhoff, Filtro percolador y un lecho de secado de lodos, dichos componentes de la planta de tratamiento se encuentran en un predio con un área aproximada de 600 metros cuadrados.



Figura 3: PTAR (El Corazón – Pangua).

Fuente: El autor.

Medición de las propiedades geométricas de la PTAR

Para el levantamiento de la información de las propiedades geométricas de cada elemento hidráulico se realizó un recorrido físico, identificando la ubicación y posición de dichos componente para su posterior medición, obteniendo así los siguientes resultados.

3.1.2. FASE 2: Recolección de datos

Medición de caudales – Método volumétrico

Para las respectivas mediciones de caudales en la PTAR de la parroquia El Corazón, se utilizó el método de medición volumétrica con un recipiente aforado (balde) con su

respectiva medida (20lt) y un cronómetro de precisión. El balde se introdujo en el pozo de revisión ubicada a la entrada de la PTAR y posteriormente se realizó las mediciones en un periodo de 7 días (1 semana) del lunes 12 de octubre al domingo 16 de octubre de 2020. La medición del caudal se lo realizó en dos puntos, en el ingreso de la entrada de la planta de tratamiento y en la salida de dicha planta por un tiempo consecutivo de 12 horas (2 tomas puntuales cada hora) desde las 7:00 am hasta las 18:00 pm.

Tabla 14: Resumen de la toma de caudales de Ingreso de la PTAR (lt/s).

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
7:00 a 8:00	2.42	2.41	2.60	2.49	2.64	2.70	2.82	2.58
8:00 a 9:00	2.40	2.35	2.47	2.15	2.57	2.27	3.40	2.52
9:00 a 10:00	1.98	1.96	2.07	2.05	2.94	2.45	2.69	2.31
10:00 a 11:00	1.90	2.17	2.18	1.76	2.18	2.34	2.77	2.19
11:00 a 12:00	1.98	2.10	1.82	2.89	2.30	2.11	2.67	2.27
12:00 a 13:00	2.36	2.15	2.10	2.06	2.61	2.77	3.42	2.50
13:00 a 14:00	2.46	2.40	2.25	2.36	1.89	2.01	2.68	2.29
14:00 a 15:00	1.93	1.86	2.98	1.97	1.42	1.98	2.54	2.10
15:00 a 16:00	1.47	1.49	2.13	1.47	1.70	1.57	2.49	1.76
16:00 a 17:00	1.56	1.57	1.71	1.45	1.57	1.59	2.52	1.71
17:00 a 18:00	1.62	1.65	1.18	1.95	1.68	1.73	1.91	1.67
18:00 a 19:00	1.76	1.76	1.36	2.16	1.99	2.00	1.90	1.85

Fuente: El autor

A través de los resultados obtenidos para los caudales de ingreso, se puede apreciar que la hora con mayor caudal durante el día en el lapso de 7 días fue en el horario de 7:00 a 8:00 ya que los moradores del sector en esa hora se preparan para salir a sus trabajos para su pronto retorno. Por otro lado, la hora con menor caudal durante el día en el lapso de los mismos 7 días fue en el horario de 17:00 a 18:00 ya que los moradores retornaban de sus trabajos y actividades de agricultura.

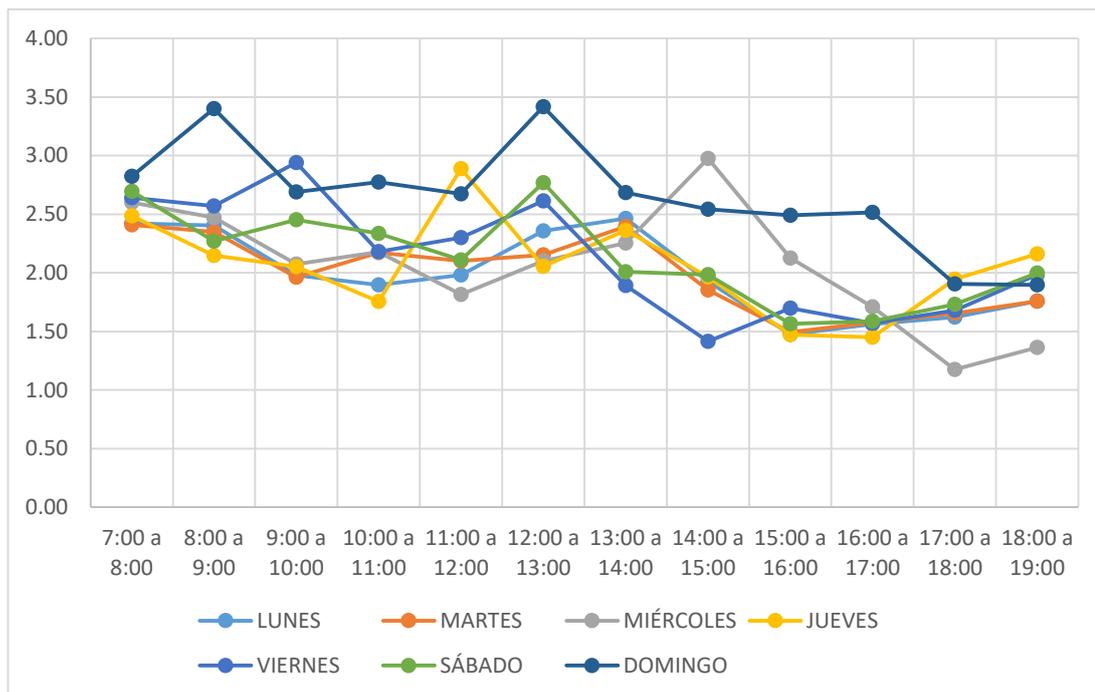


Figura 4: Comportamiento de Caudales de ingreso a la PTAR.

Fuente: El autor.

Tabla 15: Resumen de la toma de caudales de Salida de la PTAR (lt/s).

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio
7:00 a 8:00	3.12	2.79	2.81	2.48	2.54	2.72	2.81	2.75
8:00 a 9:00	2.41	2.59	2.51	2.25	2.43	2.44	3.77	2.63
9:00 a 10:00	2.11	2.13	2.46	2.50	2.77	2.52	3.41	2.56
10:00 a 11:00	2.40	2.47	2.28	2.08	2.76	2.54	3.49	2.57
11:00 a 12:00	2.22	2.43	2.37	2.40	2.50	2.34	3.03	2.47
12:00 a 13:00	1.79	2.22	2.13	2.53	2.99	2.91	4.07	2.66
13:00 a 14:00	2.15	2.32	2.30	2.20	2.36	2.20	3.41	2.42
14:00 a 15:00	1.87	1.84	2.27	2.07	2.12	1.83	3.06	2.15
15:00 a 16:00	1.73	1.80	2.16	1.88	1.96	1.73	2.66	1.99
16:00 a 17:00	1.90	1.89	1.84	1.87	1.85	1.66	2.67	1.96
17:00 a 18:00	1.91	1.89	1.40	2.38	2.10	1.80	2.23	1.95
18:00 a 19:00	2.00	1.96	1.91	2.46	2.34	2.02	2.00	2.10

Fuente: El autor

A través de los resultados obtenidos para los caudales de salida, se puede apreciar que la hora con mayor caudal durante el día en el lapso de 7 días fue en el horario de 7:00

a 8:00 ya que los moradores del sector en esa hora se preparan para salir a sus trabajos para su pronto retorno. Por otro lado, la hora con menor caudal durante el día en el lapso de los mismos 7 días fue en el horario de 17:00 a 18:00 ya que los moradores retornaban de sus trabajos y actividades de agricultura.

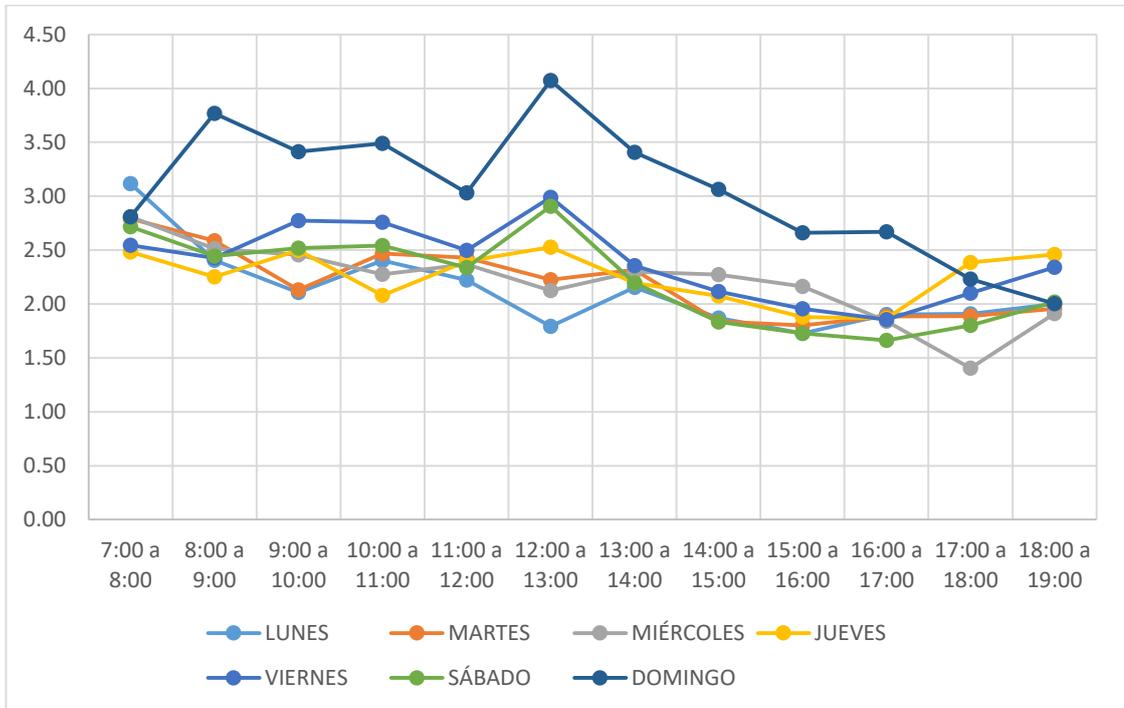


Figura 5: Comportamiento de Caudales de Salida de la PTAR

Fuente: El autor



Figura 6: Medición de caudales de ingreso a la PTAR

Fuente: El autor



Figura 7: Medición de caudales a la salida a la PTAR.

Fuente: El autor

3.1.3. FASE 3: Análisis de laboratorio

Se realizaron muestreos en dos puntos, a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento el 14 de Noviembre del 2020 según las indicaciones establecidas por la norma NTE INEN 2 176:1998 y NTE INEN 2 169:1998. El muestreo se lo realizó manualmente a la entrada de la PTAR (afluente) y en la salida de la planta (efluente), en total fueron 2 muestras de agua residual (una en cada punto).



Figura 8: Obtención de muestra a la entrada de la PTAR.

Fuente: El autor



Figura 9: Obtención de muestra a la salida de la PTAR.

Fuente: El autor



Figura 10: Muestras obtenidas para los análisis de laboratorio.

Fuente: El autor

Tabla 16: Resultados de los análisis de agua a la entrada de la PTAR.

(Muestra1)

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	81221-4	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽⁴⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A9			
ACEITES Y GRASAS GRAVIMÉTRICO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 B	PA - 43.00	mg/l	<20,0	± 4,4 mg/l	30,0	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 86.00	NMP/100ml	9200,0	± 2,1 NMP/100ml	2000	NO CUMPLE
COLOR REAL DILUCIÓN 1/20	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	15,00	± 1,56 Pt-Co	⁽²⁾ Inapreciable en dilución: 1/20	NO CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	223,28	± 30,77 mg/l	100	NO CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	542,0	± 74,6 mg/l	200	NO CUMPLE
FÓSFORO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	3,77	± 0,15 mg/l	10,0	CUMPLE
NITRÓGENO AMONICAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NH ₃ F	PA - 30.00	mg/l	59,65 ⁽⁴⁾	± 0,82 mg/l	30,0	NO CUMPLE
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-N _{org} C	PA - 72.00	mg/l	74,13	± 0,45 mg/l	50,0	NO CUMPLE
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	POS - 25.00	U pH	7,98	± 0,08 U pH	6 - 9	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 D	PA - 16.00	mg/l	150,0	± 3,9 mg/l	130	NO CUMPLE
TENSOACTIVOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5540 A y 5540 C	PA - 12.00	mg/l	8,84 ⁽⁴⁾	± 0,04 mg/l	0,5	NO CUMPLE
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	508,0	± 4,1 mg/l	1600	CUMPLE
TEMPERATURA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2550 B	PA - 47.00	°C	25,1	± 1,0 °C	Condición natural ± 3	CUMPLE
CAUDAL ^(*)	FLOTADOR/ VOLUMÉTRICO/ MOLINETE	POS - 28.00	l/s	0,36	± 0,01 l/s	NO APLICA	NO APLICA

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales ALS Global.

Tabla 17: Resultados de los análisis de agua a la salida de la PTAR.

(Muestra 2)

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	81221-3	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽⁴⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A8			
ACEITES Y GRASAS GRAVIMÉTRICO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5520 B	PA - 43.00	mg/l	<20,0	± 4,4 mg/l	30,0	CUMPLE
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	9200,0	± 2,1 NMP/100ml	2000	NO CUMPLE
COLOR REAL DILUCIÓN 1/20	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2120 C	PA - 75.00	Pt-Co	19,87	± 4,02 Pt-Co	⁽²⁾ Inapreciable en dilución: 1/20	NO CUMPLE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5210 B	PA - 45.00	mg/l	131,98	± 16,34 mg/l	100	NO CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	301,3	± 74,8 mg/l	200	NO CUMPLE
FÓSFORO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/l	2,78	± 0,15 mg/l	10,0	CUMPLE
NITRÓGENO AMONICAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NH ₃ F	PA - 30.00	mg/l	21,70	± 0,03 mg/l	30,0	CUMPLE
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-N _{org} C	PA - 72.00	mg/l	39,06	± 0,45 mg/l	50,0	CUMPLE
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	POS - 25.00	U pH	7,09	± 0,08 U pH	6 - 9	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 D	PA - 16.00	mg/l	70,0	± 1,7 mg/l	130	CUMPLE
TENSOACTIVOS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5540 A y 5540 C	PA - 12.00	mg/l	5,56 ⁽⁴⁾	± 0,04 mg/l	0,5	NO CUMPLE
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	358,0	± 3,2 mg/l	1600	CUMPLE
TEMPERATURA	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2550 B	PA - 47.00	°C	25,0	± 1,0 °C	Condición natural ± 3	CUMPLE
CAUDAL(*)	FLOTADOR/ VOLUMÉTRICO/ MOLINETE	POS - 28.00	l/s	0,29	± 0,01 l/s	NO APLICA	NO APLICA

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales ALS Global.

3.1.4. FASE 4: Análisis general del funcionamiento de la PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón cuenta actualmente con varios procesos en los que se aprecia de manera general el estado físico de cada una de estas.



Figura 11: Estado actual de la planta de tratamiento de la parroquia El Corazón (PTAR).

Fuente: El autor

La planta de tratamiento actual cuenta con los siguientes procesos: reja de entrada, desarenador, tanque imhoff, filtro percolador y un lecho de secado de lodos.

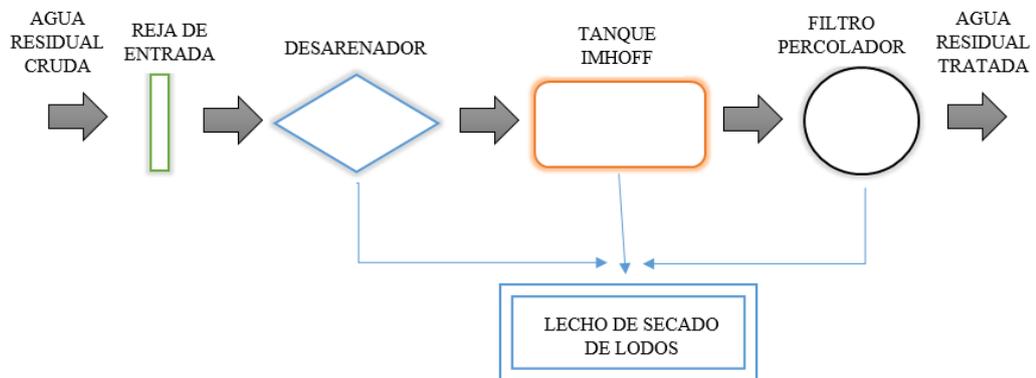


Figura 12: Proceso de tratamiento actual de la PTAR de la parroquia El Corazón.

Fuente: El autor

3.1.4.1. Reja de entrada (limpieza manual)

Esta operación se encarga de eliminar los sólidos que son de gran tamaño que pueden ser un inconveniente para los posteriores procesos, actualmente se encuentra en condiciones óptimas y tiene un buen funcionamiento ya que su mantenimiento se lo hace de forma periódica cada 7 o 15 días.



Figura 13. Reja de entrada (PTAR).

Fuente: El autor

3.1.4.2. Desarenador

El agua que proviene de la estructura que se encuentra a la entrada llega hasta el posterior proceso que es el Desarenador, dicho elemento tiene una forma irregular y se encuentra libre de fisuras y perforaciones, actualmente permanece tapado para no ocasionar el ingreso de animales, objetos o basura para garantizar su rendimiento.



Figura 14: Desarenador (PTAR).

Fuente: El autor

3.1.4.3. Tanque IMHOFF

En el tanque IMHOFF las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación donde se remueve una considerable parte de los sólidos sedimentables. Actualmente se encuentra con gran cantidad de sólidos suspendidos que pasaron desde el anterior proceso que es el desarenador, dicho tanque al estar en un ambiente húmedo, presenta pequeñas fisuras, desprendimientos de hormigón y pintura en ciertas zonas.



Figura 15: Tanque IMHOFF (PTAR).

Fuente: El autor

3.1.4.4. Filtro Percolador

El filtro percolador al ser una unidad de tratamiento biológico, presenta varios puntos de vista a considerar. Sin embargo su funcionamiento no es muy óptimo ya que las aguas residuales que son vertidas por medio de los brazos distribuidores presentan bloqueos debido a la presencia de lodos en la superficie y a la misma vez producen malos olores. Dicho filtro al tener una forma cilíndrica tiene problemas de humedad excesiva y fisuración.



Figura 16: Filtro Percolador (PTAR).

Fuente: El autor

3.1.4.5. Lecho de secado de lodos

En este tanque se depositan los lodos provenientes de los procesos anteriores, dichos lodos al no ser descargados en el lecho de secado de acuerdo al tiempo de diseño ha perdido su funcionamiento en su totalidad por lo que se ha deteriorado. Dicho lecho de secado actualmente presenta la existencia de plantas y fisuras en sus paredes.



Figura 17: Lecho de secado de lodos (PTAR).

Fuente: El autor

3.1.5. FASE 5: Diagnóstico General de la PTAR

En base al análisis general del funcionamiento de la PTAR de cada una de sus elementos, se evidencia que la planta de tratamiento a pesar de tener un mantenimiento periódico presenta problemas para tratar el caudal del año presente. Cabe mencionar y aclarar que la planta de tratamiento no se encuentra en buenas condiciones estructurales y funcionales aparentemente debido a errores en el proceso de construcción para lo cual se realizará un diagnóstico más profundo y técnico del funcionamiento y cumplimiento de parámetros de diseño.

Análisis de las muestras de agua residual de la PTAR

El agua residual que llega a la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón proviene del uso doméstico y en algunos casos de las aguas pluviales. Se realizaron muestreos en dos puntos, a la entrada y a la salida de la PTAR de la siguiente forma:

- Muestra 1.- Se realizó la toma de una muestra puntual a la entrada de la planta de tratamiento en el horario donde existe un ingreso elevado de agua residual, dicha muestra se la hizo a las 7:00 am del día domingo 13 de diciembre del 2020.
- Muestra 2.- Se realizó la toma de una muestra puntual a la salida de la planta de tratamiento en el horario donde existe un ingreso elevado de agua residual, dicha muestra se la hizo a las 8:00 am del día domingo 13 de diciembre del 2020.

Las muestras tomadas se las realizó según las indicaciones establecidas por la norma NTE INEN 2 176 y NTE INEN 2 169. Posteriormente se realizó el transporte de las muestras al laboratorio de servicios ambientales ALS Global en la ciudad de Quito y realizar los respectivos análisis fisicoquímicos del agua residual cruda y tratada.

Comparación y análisis de resultados con la normativa ambiental TULSMA 2015

La planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón está conformada por las siguientes operaciones y procesos unitarios:

- Reja de entrada
- Desarenador
- Tanque Imhoff,
- Filtro percolador
- Lecho de secado de lodos.

Dichos procedimientos tienen una remoción teórica de carga contaminante que se muestra en la tabla 18, mismos que serán utilizados para el análisis de los posteriores resultados.

Tabla 18: Grado de remoción teórica de contaminantes por procesos unitarios.

UNIDADES DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DEL CONSTITUYENTE, PORCENTAJE					
	DBO	DQO	SS	Pb	N-Org c	NH3-N
Rejas de barra	0	0	0	0	0	0
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	0	0	0
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Filtros percoladores						
Alta carga, medio pétreo	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Total remoción teórica	99.05	97.15	98.65	34	75	27.75

Fuente: METCALF & EDDY [10]

Los diferentes resultados que se obtuvieron en los respectivos análisis se compararon con los parámetros para descargas de agua residual tratar en un cuerpo de agua dulce procedente a la Tabla 10 del TULSMA 2015 para verificar dichos resultados con la normativa vigente.

En la Tabla 19. Se representan las comparaciones de cada parámetro con la normativa ambiental vigente (TULSMA 2015), en la que a través del análisis del laboratorio se pudo determinar que la mayoría de parámetros, cumplen a excepción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) que presentan niveles relativamente altos al límite permisible en la salida de la PTAR.

Tabla 19: Comparación de los resultados del análisis de laboratorio con la normativa (Muestra 1 y 2 a la entrada y salida de la PTAR).

PARÁMETRO	U	MÉTODO	ENTRADA	SALIDA	TULSMA LÍMITE MÁX.	CUMPLE
Fósforo Total	mg/l	Standard Methods Ed. 23,2017,4500P-B y 4500 P-C	3,77	2,78	10	SI
Sólidos Suspendidos	mg/l	Standard Methods Ed. 23,2017,2540A y 2540 D	150,0	70,0	130	SI
Nitrógeno Total	mg/l	Standard Methods Ed. 23,2017,4500-Nag C	74,13	39,06	50	SI
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	Standard Methods Ed. 23,2017,4500-NH3F	59,65	21,70	30	SI
DQO	mg/l	Standard Methods Ed. 23,2017,5220A y 5220D	542,0	301,3	200	NO
DBO 5	mg/l	Standard Methods Ed. 23,2017,5210B	223,28	131,98	100	NO

Fuente: El autor

Tabla 20: Remoción real de contaminantes (Muestra 1 y 2).

PARÁMETRO	U	ENTRADA	SALIDA	REMOCIÓN REAL (%)
Fósforo Total	mg/l	3.77	2.78	26%
Sólidos Suspendidos	mg/l	150	70	53%
Nitrógeno Total	mg/l	74.13	39.06	47%
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	59.65	21.7	64%
DQO	mg/l	542	301.3	44%
DBO 5	mg/l	223.28	131.98	41%

Fuente: El autor

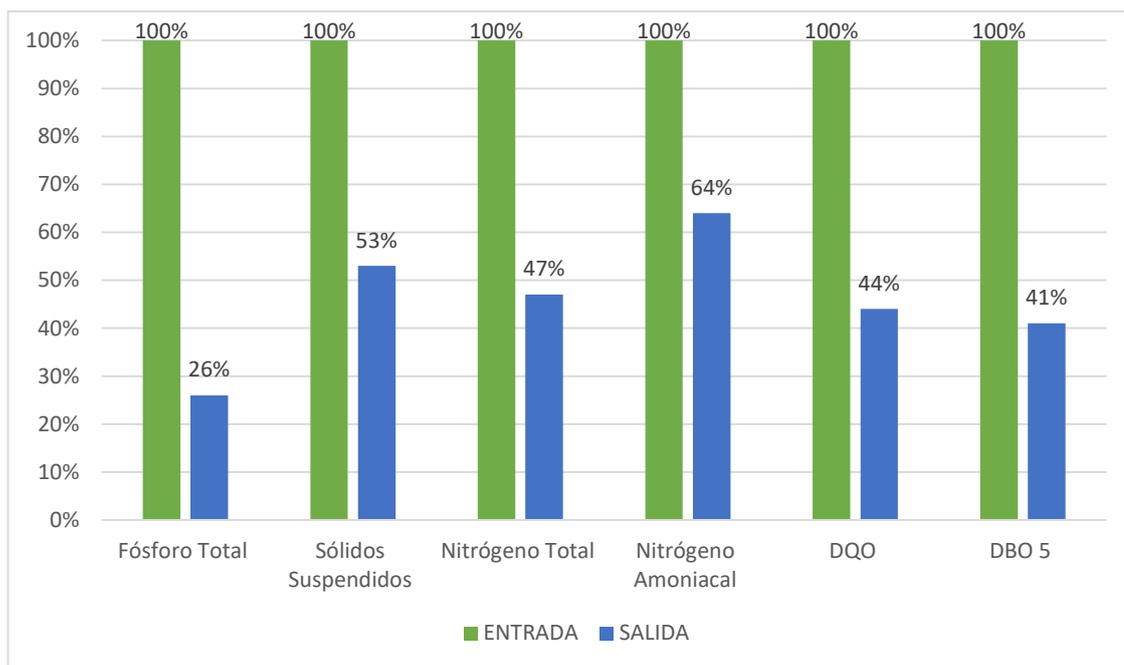


Figura 18: Esquema de remoción real de contaminantes (Muestra 1 y 2).

Fuente: El autor

Tabla 21: Remoción teórica de contaminantes (Muestra 1 y 2).

PARÁMETRO	U	ENTRADA	SALIDA	REMOCIÓN TEÓRICA (%)
Fósforo Total	mg/l	3.77	2.48	34%
Sólidos Suspendidos	mg/l	150	1.5	99%
Nitrógeno Total	mg/l	74.13	18.5	75%
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	59.65	43.5	27%
DQO	mg/l	542	15.23	97%
DBO 5	mg/l	223.28	2.18	99%

Fuente: El autor

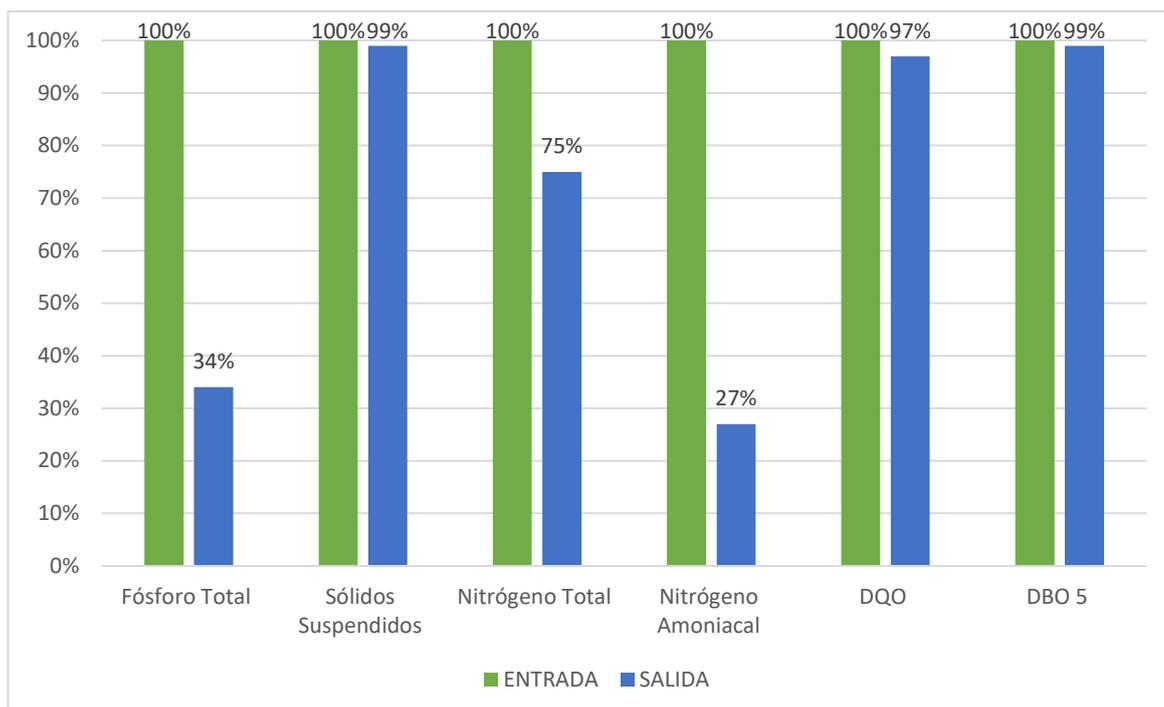


Figura 19: Esquema de remoción teórica de contaminantes (Muestra 1 y 2).

Fuente: El autor

Una vez realizadas las comparaciones con los resultados que se obtuvieron en el Laboratorio de servicios ambientales ALS Global, se puede decir que el funcionamiento integral de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón se encuentra operando de forma parcial, por lo que es necesario realizar una evaluación mucho más profunda del funcionamiento de cada obra hidráulica que conforman la PTAR.

3.2 Evaluación de la PTAR de la parroquia El Corazón

3.2.1 Diagnóstico Técnico

Para realizar el diagnóstico de la planta tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón se tuvieron en cuenta las dimensiones de cada una de las unidades de tratamiento, así también como las condiciones del agua residual cruda y tratada para realizar la verificación del estado en la que se encuentra actualmente.

3.2.2 Elementos actuales del sistema de tratamiento de la PTAR

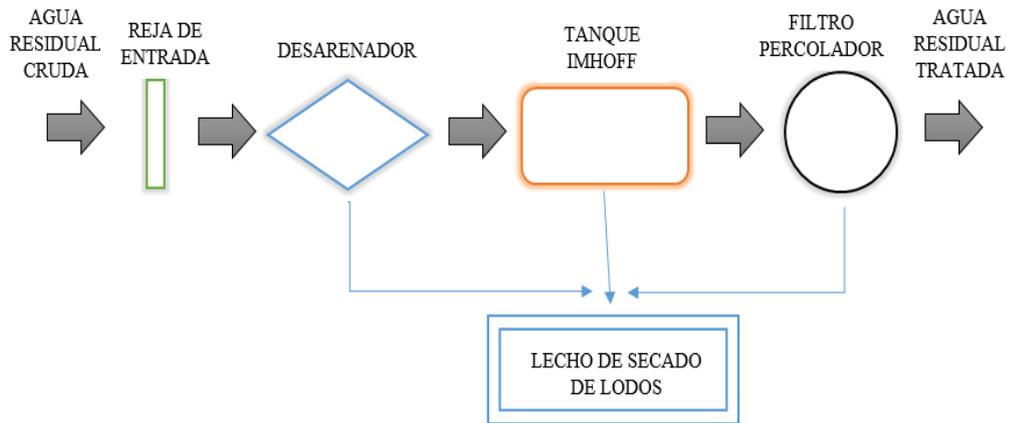


Figura 20: Diagrama de flujo actual de la PTAR.

Fuente: El autor

3.2.3 Dimensiones actuales de los elementos que conforman la PTAR

Para el levantamiento de la información de las propiedades geométricas actuales de cada elemento hidráulico se realizó un recorrido físico, identificando la ubicación y posición de dichos componentes para su posterior medición, obteniendo así los siguientes resultados:

3.2.3.1 Reja de entrada

Se encuentra ubicada a la entrada de la planta de tratamiento, su función principal es la retención de los sólidos de gran tamaño que pueden ser un inconveniente considerable para los procesos posteriores.

Tabla 22: Dimensiones de la Reja de entrada.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	0.4	m
Ancho	0.3	m
Diámetro de rejas	1/2"	in
Separación rejas	0.025	cm

Fuente: El autor

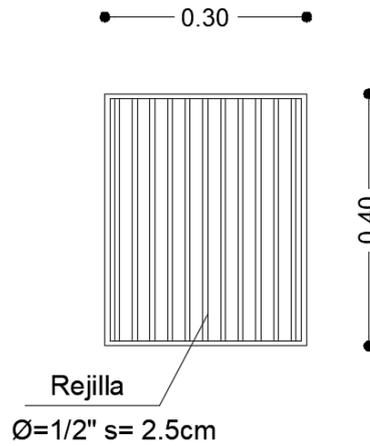


Figura 21: Vista en elevación de la reja de entrada.

Fuente: El autor

3.2.3.2. Desarenador

Es una estructura de hormigón armado que recibe el agua residual cruda, este sistema se encarga de proteger el desgaste anormal de las tuberías y canales del siguiente proceso, consta de dos salidas que dirigen el agua residual al Tanque Imhoff.

Tabla 23: Dimensiones del Desarenador.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	0.40	m
Ancho	0.80	m
Largo	6.90	m
Transición de entrada y salida	1.75	m
Espesor de pared	0.15	m

Fuente: El autor

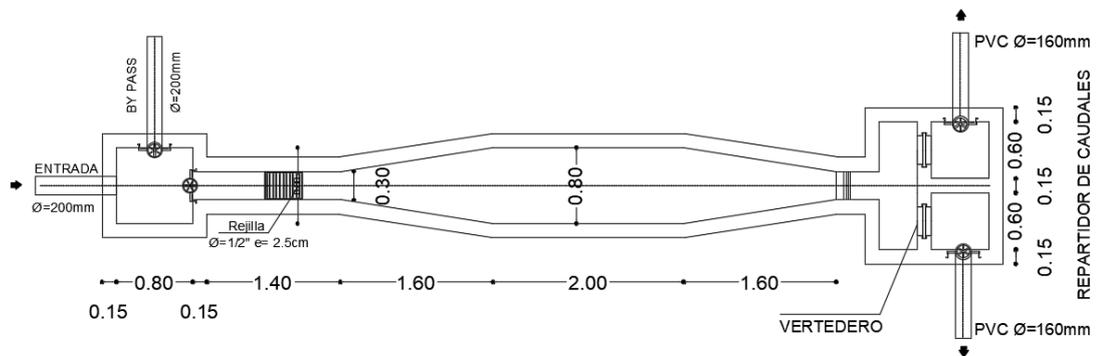


Figura 22: Vista en planta del Desarenador.

Fuente: El autor

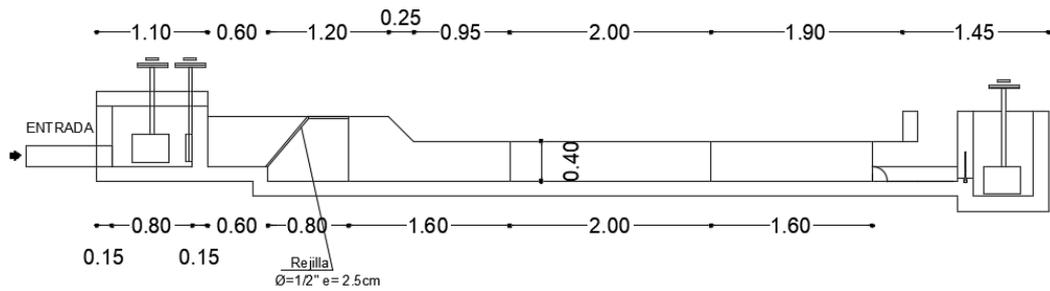


Figura 23: Vista en elevación del Desarenador.

Fuente: El autor

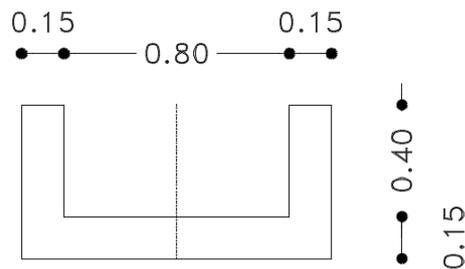


Figura 24: Vista frontal del Desarenador.

Fuente: El autor

3.2.3.3. Tanque Imhoff

Es una estructura de hormigón armado de forma rectangular que se cuenta con una cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos, un área de ventilación donde se acumulan las natas y tubos de salida de lodos. Dicho tanque recibe las aguas que provienen del desarenador a través de dos tuberías de 160 mm de diámetro.

Tabla 24: Dimensiones del Tanque Imhoff.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	5.00	m
Ancho	5.40	m
Largo	5.10	m
Espesor pared ext.	0.25	m
Espesor pared int.	0.10	m

Fuente: El autor

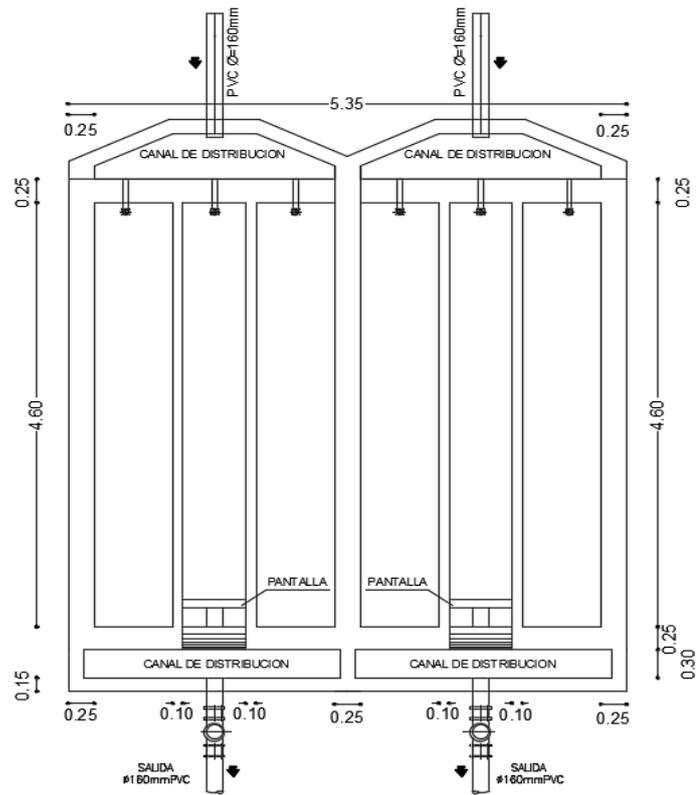


Figura 25: Vista en planta del Tanque Imhoff.

Fuente: El autor

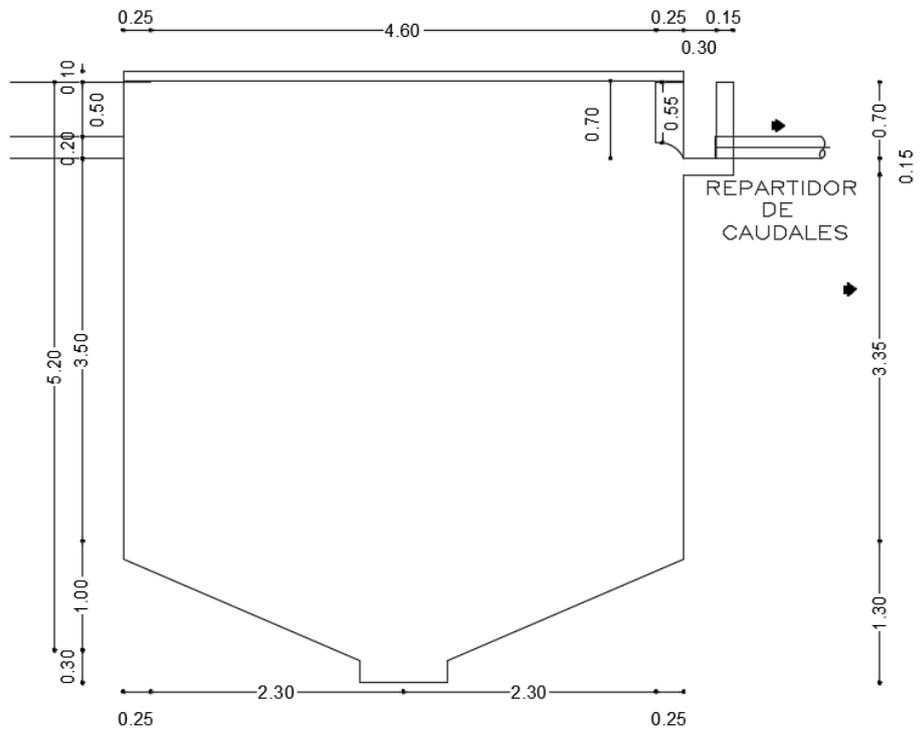


Figura 26: Vista en elevación del Tanque Imhoff.

Fuente: El autor

3.2.3.4 Filtro Percolador

Los filtros percoladores son estructuras hidráulicas compuestas por un lecho (medio filtrante) por el que se distribuye de una forma continua el agua residual. Básicamente este tratamiento consiste en pasar dichas aguas residuales al filtro formando una capa (biopelícula) con diversos espesores.

Tabla 25: Dimensiones del Filtro Percolador.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.50	m
Ancho (Diámetro)	3.50	m
Espesor de pared	0.10	m

Fuente: El autor

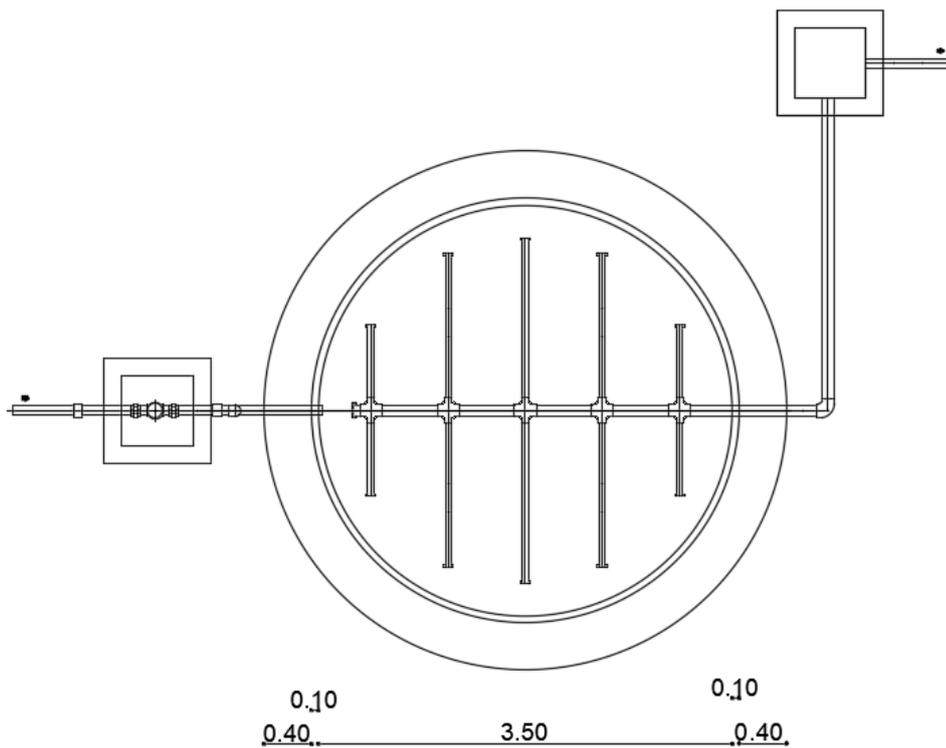


Figura 27: Vista en elevación del Filtro Percolador.

Fuente: El autor

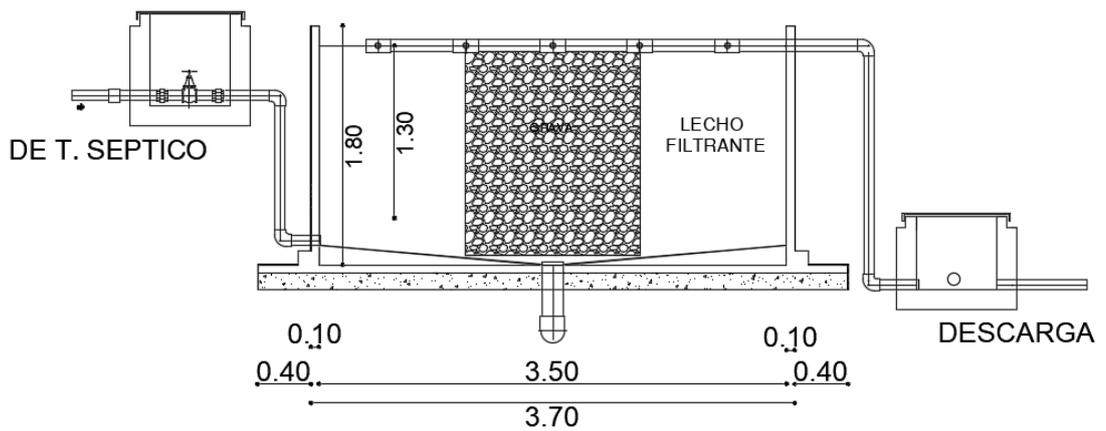


Figura 28: Vista en elevación del Filtro Percolador.

Fuente: El autor

3.2.3.5 Lecho de secado de lodos

Los lechos para el secado de lodos por lo general tienen una forma rectangular y depende de las condiciones climáticas para el secado de los lodos, una vez terminada el proceso de secado se procede a retirar para su compostaje, remoción hacia el relleno sanitario o disposición final. En algunas ocasiones son filtros de profundidad variable que se encuentra compuesto por material filtrante (arena y grava), tienen sistemas de drenaje para los lixiviados.

Tabla 26: Dimensiones del Lecho de secado de lodos.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	2.50	m
Ancho	2.90	m
Largo	4.70	m
Espesor pared	0.30	m

Fuente: El autor

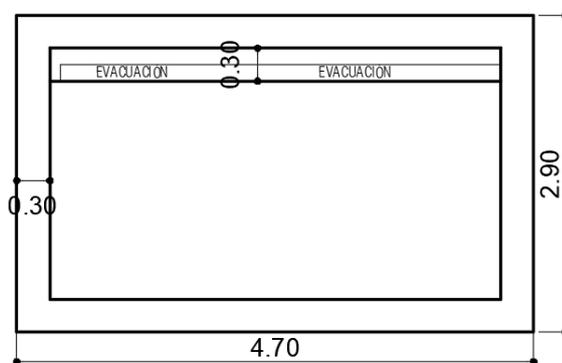


Figura 29: Vista en planta del lecho de secado de lodos.

Fuente: El autor

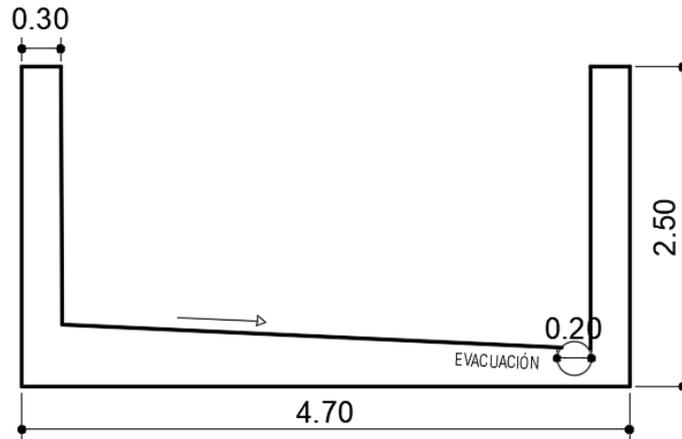


Figura 30: Vista en elevación del lecho de secado de lodos.

Fuente: El autor

3.2.4 Diagnóstico de funcionamiento teórico actual de la PTAR

3.2.4.1 Diagnóstico de funcionamiento del Desarenador (OPS)

Los datos de la temperatura, diámetro de la partícula y la densidad relativa de la arena se obtuvieron a través de la información recopilada en campo. Los datos como la viscosidad cinemática, peso específico de la partícula y el factor que está en función al diámetro de la partícula, se los consideraron en base a los criterios de diseño estipulados en el manual de la OPS [19].

Se tomó como caudal de diseño al caudal máximo horario con un valor de 3.42 lt/s correspondiente al día domingo, el dato para el caudal máximo horario está en base a las cargas contaminantes sobre la selección y dimensionamiento de las instalaciones de plantas de tratamiento estipulados en la Tabla 27.

DATOS

- Diámetro de la partícula $d = 0.2 \text{ mm}$
- Caudal de diseño $Q = 3.42 \text{ lt/s}$
- Densidad relativa de la arena $\rho_s = 2.65$
- Temperatura $T = 25^\circ\text{C}$
- Peso específico de las partículas $\lambda_s = 2.63 \text{ g/cm}^3$
- Aceleración de la gravedad $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Viscosidad cinemática $n = 0.8975 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$
- Factor en función del diámetro $a = 44$

Tabla 27. Efecto de los caudales y las cargas contaminantes sobre la selección y dimensionamiento de las instalaciones de plantad de tratamiento secundario.

Proceso u operación unitaria	Factores de diseño críticos	Criterios de dimensionamiento	Efecto de los criterios de diseño sobre el funcionamiento de la planta
Bombeo de agua residual y conducciones	Caudal máximo horario	Caudal	Posibilidad de inundación del pozo de bombeo, sobrecarga de la red de alcantarillado, o desbordamiento de las unidades de tratamiento si se supera el caudal punta
Desbaste	Caudal máximo horario	Caudal	Las pérdidas de carga en la circulación a través de rejillas y tamices aumentan para caudales elevados.
	Caudal mínimo	Velocidad de aproximación en el caudal	A caudales bajos, puede producirse la deposición de sólidos en el canal.
Desarenado	Caudal máximo horario	Carga de superficie	A caudales elevados, el rendimiento de los desarenadores disminuye, provocando problemas en el resto de las instalaciones.
Sedimentación primaria	Caudal máximo horario	Carga de superficie	La eficacia de la eliminación de sólidos se reduce para cargas de superficie altas; se incrementa la carga en los procesos de tratamiento secundario.
	Caudal mínimo horario	Tiempo de detención	A caudales bajos, el aumento del tiempo de detención puede hacer que el agua devenga séptica.
Fangos activados	Caudal máximo horario	Tiempo de residencia hidráulica	Arrastre de sólidos a caudales elevados; puede hacer necesaria la recirculación del fango effluente a caudales bajos.
	Carga orgánica máxima diaria	Relación alimento/microorganismos (F/A)	Una demanda de oxígeno alta puede exceder la capacidad de aireación y provocar bajos rendimientos del proceso de tratamiento.
Filtros percoladores	Caudal máximo horario	Carga hidráulica	El arrastre de sólidos a caudales elevados puede provocar bajos rendimientos del proceso de tratamiento.
	Caudal mínimo horario	Carga hidráulica y carga orgánica	A caudales bajos, puede ser necesario aumentar la recirculación para mantener el proceso.

Fuente: METCALF & EDDY [10]

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO (Velocidad de escurrimiento)

$$Vd = a \sqrt{d}$$

$$Vd = 44 \sqrt{0.020} cm$$

$$Vd = 6.22 \frac{cm}{s}$$

$$Vd = 0.0622 \frac{m}{s}$$

ANCHO DE LA CAMARA DE SEDIMENTACIÓN (asumido)

$$B = 1.5 m$$

ALTURA DE LA CAMARA DE SEDIMENTACIÓN

$$H = \frac{Q}{v * B}$$

$$H = \frac{0.00342 \frac{m^3}{s}}{0.0622 \frac{m}{s} * 1.5m}$$

$$H = 0.036 m$$

Asumimos $H = 1.5 m$ según los criterios de diseño de la OPS.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{n} \right) d^2$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \frac{cm}{s^2} * \left(\frac{2.65 - 1}{0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}} \right) (0.02 cm)^2$$

$$V_s = 4.01 \frac{cm}{s}$$

CÁLCULO DE REYNOLDS

$$Re = \frac{V_s * d}{n}$$

$$Re = \frac{4.01 \frac{cm}{s} * 0.02 cm}{0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}}$$

$$Re = 8.94$$

$Re = 8.94 > 0.5$ (No se encuentra en la zona de la ley de Stokes)

Hacemos un reajuste para identificar la Ley aplicable correcta.

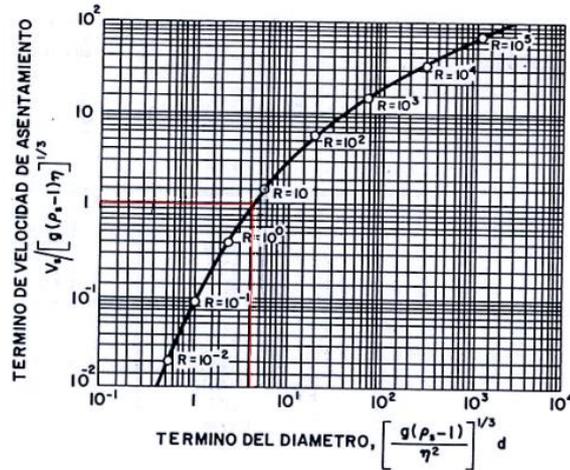


Figura 31: Valores de sedimentación.

Fuente: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores [19]

Término del diámetro:

$$Td = \left(\frac{g(ps - 1)}{n^2} \right)^{1/3} * d$$

$$Td = \left(\frac{981 \frac{cm}{s^2} * (2.65 - 1)}{(0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s})^2} \right)^{1/3} * 0.02 cm$$

$$Td = 5.44$$

Término de la velocidad de sedimentación:

$$\frac{Vs}{(g(ps - 1)n)^{1/3}} = 1$$

$$Vs = 1 * (g(ps - 1)n)^{1/3}$$

$$Vs = 1 * \left(981 \frac{cm}{s^2} * (2.65 - 1) * 0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s} \right)^{1/3}$$

$$Vs = 2.44 \text{ cm/s}$$

Comprobación de Reynolds

$$Re = \frac{Vs * d}{n}$$

$$Re = \frac{2.44 \frac{cm}{s} * 0.02cm}{0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}}$$

$$Re = 4.83$$

$Re = 4.83$ (Entonces se encuentra en la zona de transición – Ley de Allen)

CÁLCULO DE ARRASTRE

$$CD = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$

$$CD = \frac{24}{4.83} + \frac{3}{\sqrt{4.83}} + 0.34$$

$$CD = 6.67$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

$$Vs = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{CD} (Ps - 1) * d}$$

$$Vs = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981 \frac{cm}{s^2}}{6.67} (2.65 - 1) * 0.02cm}$$

$$Vs = 2.54 \text{ cm/s}$$

CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN

$$Ts = \frac{H}{Vs}$$

$$Ts = \frac{1.5 \text{ m}}{0.0254 \text{ m/s}}$$

$$Ts = 59.05 \text{ s}$$

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA CÁMARA

Asumimos una eficiencia del 80% y calculamos k de acuerdo al siguiente gráfico:

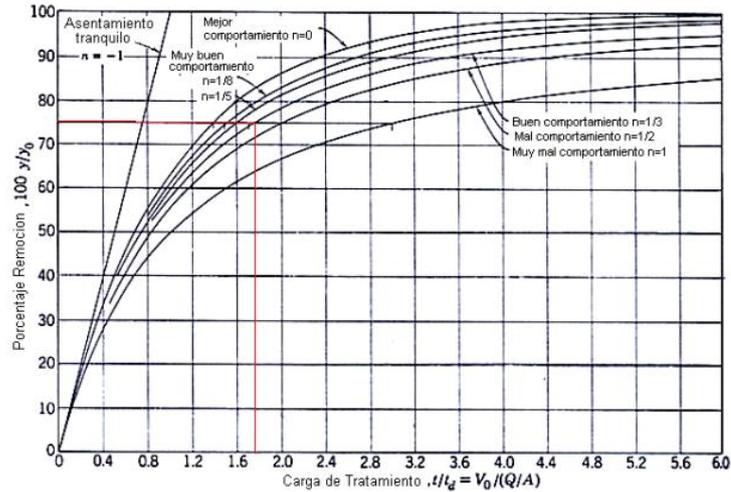


Figura 32: Curvas de comportamiento.

Fuente: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores [19]

$$L = k * Vd * Ts$$

$$L = 2.1 * 0.0622 \frac{m}{s} * 59.05 s$$

$$L = 7.71 m$$

Se asume $L = 7.75 m$

CÁLCULO DE LA TRANSICIÓN DE ENTRADA Y SALIDA

$$LT = \frac{B - H}{2 * \tan(12.5)}$$

$$LT = \frac{1.5 m - 1.5 m}{2 * \tan(12.5)}$$

$$LT = 0 m$$

Tabla 28: Dimensiones del Desarenador propuesto.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.50	m
Ancho	1.50	m
Largo	7.75	m
Transición de entrada y salida	0.0	m
Espesor de pared	0.15	m

Fuente: El autor

A través de los cálculos realizados mediante el proceso de diseño según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se realizó el cálculo respectivo para el caudal máximo horario de 3.42 lt/s correspondiente al día domingo, dando como resultado una relación largo/profundidad igual a 5 por lo que cumple con los criterios de diseño que dice la OPS que debe estar entre 5 – 20. Por otro lado relación largo/ancho calculada fue igual a 5 por lo que cumple con los criterios de diseño de la OPS que dice que debe estar entre 3 - 6, mientras que las dimensiones actuales del desarenador la relación largo/ancho es 8 por lo que el desarenador existente no cumple con ciertas dimensiones y criterios de diseño.

3.2.4.2 Diagnóstico de funcionamiento del Tanque Imhoff (OPS)

Los datos considerados en la dotación y la población se utilizaron en base a los datos del proyecto del diseño del sistema de alcantarillado de la parroquia el Corazón. Los datos de la temperatura y la contribución de sólidos suspendidos se obtuvieron en campo.

Por otro lado los datos adicionales como el coeficiente de retorno y el periodo de retención se los consideraron en base a los criterios de diseño estipulados en el manual de la OPS [20].

DATOS

- Población 1752 Hab
- Dotación 150 lt/hab/día
- Coeficiente de retorno 80%
- Contribución de sólidos suspendidos 70 gr

- Temperatura 25°C
- Periodo de retención (asumido) R = 2h

CÁLCULO DEL CAUDAL DE TRATAMIENTO

$$Qp = \frac{\text{Población} * \text{Dotación}}{1000} * \% \text{Contribución}$$

$$Qp = \frac{1752 \text{ Hab} * 150 \frac{\text{lt}}{\text{hab}} / \text{día}}{1000} * 0.8$$

$$Qp = 210.242 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Qp = 8.75 \text{ m}^3/\text{hora}$$

CÁLCULO DEL SEDIMENTADOR

$$A = \frac{Qp}{Cs}$$

$$A = \frac{8.75 \text{ m}^3/\text{hora}}{1.0 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} / \text{hora}}$$

$$A = 8.75 \text{ m}^2$$

Volumen es:

$$V = R * Qp$$

$$V = 2 \text{ h} * 8.75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = 17.5 \text{ m}^3$$

CÁLCULO DE LA ZONA DE RETENCIÓN

El ancho de la zona de sedimentación es:

$$\text{Área} = 4 * A^2$$

$$A = \sqrt{\frac{\text{Área}}{4}}$$

$$A = \sqrt{\frac{8.75 \text{ m}^2}{4}}$$

$$A = 1.45 \text{ m}$$

La longitud de la zona de sedimentación es:

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

$$L = 4 * A$$

$$L = 4 * 1.45 \text{ m}$$

$$L = 5.80 \text{ m}$$

La altura de la zona de sedimentación es:

$$\text{tg}60^\circ = \frac{h1}{A/2}$$

$$\text{tg}60^\circ = \frac{h1}{1.45/2}$$

$$h1 = 1.20 \text{ m}$$

CÁLCULO DEL DIGESTOR

El volumen del digestor es:

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1000}$$

$$Vd = \frac{70 * 1752 \text{ Hab} * 0.5}{1000}$$

$$Vd = 61.32 \text{ m}^3$$

Entonces el área superficial será:

$$A_{total} = 2.6 \text{ m} * 5.80 \text{ m}$$

$$A_{total} = 15.08 \text{ m}^2$$

Área de ventilación es:

$$A_L = 1.2m * 5.80m$$

$$A_l = 6.96 m^2$$

Verificamos si representa más del 30% del total del área del tanque:

$$\frac{A_L}{A_{total}} * 100 = 46\%$$

Ahora calculamos las alturas dentro del digestor:

$$tg30^\circ = \frac{h1}{2.6/2}$$

$$h1 = 0.80 m$$

$$V_1 = \frac{1}{3} * h1 * 2.6m * 5.80m$$

$$V_d = 61.32m^3 = V_1 + V_2 = \left(\frac{1}{3} * 0.80m * 2.6m * 5.80m\right) + (h2 * 2.6m * 5.80m)$$

$$h2 = 3.90 m$$

$$h_T = h1 + h2$$

$$h_T = 0.80 + 3.90$$

$$h_T = 4.70 m$$

Tabla 29: Dimensiones recalculadas del Tanque Imhoff.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	4.70	m
Ancho	5.20	m
Largo	5.80	m
Espesor pared ext.	0.25	m
Espesor pared int.	0.20	m

Fuente: El autor

El estado actual del Tanque Imhoff cumple con los cálculos teóricos del proceso de diseño de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), sin embargo existen variaciones en la altura y el largo del tanque que son notables pero no relevantes para que cumpla con la eliminación de los sólidos suspendidos de las aguas residuales.

3.2.4.3 Diagnóstico de funcionamiento del Filtro Percolador (Modelo BRUCE Y MERKENS)

El valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se lo tomó en base a los análisis de laboratorio establecidos en la Tabla 16. Al igual que el diagnóstico del desarenador se tomó como caudal de diseño al caudal máximo horario con un valor de 3.42 lt/s correspondiente al día domingo, el dato para el caudal máximo horario está en base a las cargas contaminantes sobre la selección y dimensionamiento de las instalaciones de plantas de tratamiento estipulados en la Tabla 27. Los valores de la temperatura, el medio de soporte y el tamaño nominal del medio filtrante se los consideraron de los datos tomados en campo.

DATOS

- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO = Sa = 223.28 mg/l
- Caudal Q=3.42lt/s=295.49 m3/día
- Remoción 35%
- Profundidad P= 1.80 m
- Temperatura T = 25°C
- Medio de soporte: Piedra de río grande
- Tamaño nominal: 12 cm

CÁLCULO DE LA CONTANTE DE TRATABILIDAD

$$K_T = 0.037 (1.08)^{T-15}$$

$$K_T = 0.037 (1.08)^{25-15}$$

$$K_T = 0.080 \text{ m/d}$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL MEDIO FILTRANTE

$$V = \frac{Q * \ln\left(\frac{S_a}{S_e}\right)}{K_T * S}$$

$$V = \frac{295.49 \text{ m}^3/\text{d} * \ln\left(\frac{223.28 \text{ mg/l}}{0.2 * 223.28 \text{ mg/l}}\right)}{0.080 \text{ m/d} * 70 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}}$$

$$V = 84.92 \text{ m}^3$$

Área superficial del filtro:

$$A = \frac{V}{P}$$

$$A = \frac{84.92 \text{ m}^3}{1.80 \text{ m}}$$

$$A = 49.18 \text{ m}^2$$

Diámetro del filtro:

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 49.18 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi = 8.0 \text{ m}$$

Las cargas hidráulicas son:

$$CH_V = \frac{Q}{V}$$

$$CH_V = \frac{295.49 \text{ m}^3/\text{día}}{84.92 \text{ m}^3}$$

$$CH_V = 3.48 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

$$CH_s = \frac{Q}{A}$$

$$CH_s = \frac{295.49 \text{ m}^3/\text{día}}{47.18 \text{ m}^2}$$

$$CH_s = 6.26 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

Las cargas orgánicas son:

$$CO = 223.28 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * (293.76 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 10^{-3})$$

$$CO = 65.59 \frac{\text{kg} * \text{DBO}}{\text{día}}$$

$$CO_v = \frac{65.59 \frac{\text{kg} * \text{DBO}}{\text{día}}}{84.43 \text{ m}^3}$$

$$CO_v = 0.78 \frac{\text{kg} * \text{DBO}}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

$$CO_s = \frac{65.59 \frac{\text{kg} * \text{DBO}}{\text{día}}}{46.91 \text{ m}^2}$$

$$CO_v = 1.40 \frac{\text{kg} * \text{DBO}}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

Tabla 30: Dimensiones recalculadas del Filtro Percolador.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.80	m
Ancho (Diámetro)	8.00	m
Espesor de pared	0.20	m

Fuente: El autor

El estado actual del filtro percolador no cumple con los parámetros de diseño propuestos en el Modelo de Bruce y Merckens ya que posee un área muy inferior a la del proceso de recalcu lo teórico realizados. El filtro percolador que está actualmente construido se encuentra dividido en dos, conectados en forma paralela que tienen un

diámetro actual por cada filtro de 3.50m y sumados de 7.0m, lo cual representa un metro menos del diámetro calculado teóricamente que fue de 8.0m. Es por eso que esta pequeña variación hace que el funcionamiento actual del Filtro no ayuda a una correcta remoción de contaminantes presentes en el agua residual.

3.2.4.4 Diagnóstico de funcionamiento del Lecho de secado de lodos (OPS)

Para el diagnóstico del funcionamiento del lecho de secado de lodos, se tomaron los valores de la población y la temperatura realizados en el cálculo del apartado 3.2.4.2.

El valor de la contribución per cápita, factor de compacidad relativa y profundidad de aplicación se adoptó en base a los parámetros de diseño de la OPS [20].

DATOS

- Población $P = 1752 \text{ Hab}$
- Contribución Percápita $Cp = 80 \text{ gr} \frac{SS}{hab * día}$
- Densidad de lodos $\rho_{lodos} = 1.04 \frac{kg}{lt}$
- % sólidos 15%
- Temperatura $T = 25^{\circ}C$
- Factor compacidad relativa $Td = 30 \text{ días}$
- Profundidad de aplicación $Ha = 0.40 \text{ m}$

CÁLCULO DE LA CARGA DE SÓLIDOS (C en Kg de SS/día)

$$C = \frac{\text{Población} * \text{contribución percapita} \left(\text{gr} * \frac{SS}{hab * día} \right)}{1000}$$

$$C = \frac{1752 \text{ Hab} * \left(80 \text{ gr} * \frac{SS}{hab * día} \right)}{1000}$$

$$C = 140.16 \text{ Kg} \frac{SS}{hab}$$

MASA DE SÓLIDOS QUE CONFORMAN LOS LODOS (Msd en Kg de SS/día)

$$M_{sd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$M_{sd} = \left(0.5 * 0.7 * 0.5 * \left(140.16 \frac{SS}{hab} \right) \right) + \left(0.5 * 0.3 * \left(140.16 \frac{SS}{hab} \right) \right)$$

$$M_{sd} = 45.55 \text{ Kg} \frac{SS}{hab}$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DIARIO DE LOSOS DIGERIDOS (V_{ld} en lt/día)

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodos} * \left(\frac{\% \text{ de sólidos}}{1000} \right)}$$

$$V_{ld} = \frac{45.55 \text{ kg} \frac{SS}{hab}}{\left(1.04 \frac{kg}{lt} \right) * \left(\frac{15\%}{1000} \right)}$$

$$V_{ld} = 291.99 \text{ m}^3$$

CÁLCULO DE VOLUMEN DE LODOS A EXTRAER DEL TANQUE (V_{el} en m³)

$$V_{el} = \frac{V_{ld} * T_d}{1000}$$

$$V_{el} = \frac{(291.99 \text{ m}^3) * (30 \text{ días})}{1000}$$

$$V_{el} = 8.76 \text{ m}^3$$

CÁLCULO DEL ÁREA DEL LECHO DE SECADO (A_{ls} en m²)

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{Ha}$$

$$A_{ls} = \frac{8.76 \text{ m}^3}{0.40 \text{ m}}$$

$$A_{ls} = 17.52 \text{ m}^2$$

Tabla 31: Dimensiones Recalculadas del Lecho de secado de lodos.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.00	m
Ancho	3.00	m
Largo	6.00	m
Espesor pared	0.30	m

Fuente: El autor

El lecho de secado de lodos actualmente tiene un área de 13.63 m² que es muy diferente e insuficiente con respecto al recalcu lo realizado en base al manual de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), dónde se obtuvo un área de 17.52 m². Por lo cual, es fundamental realizar un aumento en sus dimensiones actuales y ponerla en operación para que su funcionamiento sea el adecuado ya que no cumple con los parámetros estipulados en el Manual de la OPS.

3.3 Verificación de Hipótesis

En la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la parroquia El Corazón entran diversos contaminantes que a su vez no cumplen con los límites máximos permisibles que afectan directamente a las altas concentraciones que presenta la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) como se puede apreciar en la Tabla 16 y Tabla 17.

La PTAR remueve los diferentes contaminantes que presenta el agua residual sin tratar, se realiza a través de los componentes que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales, estos elementos al no encontrarse dimensionados y operando adecuadamente, son incapaces de cumplir con su función principal para remover la carga contaminante y cumplir con el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce establecido en la Tabla 7 y Tabla 8.

A través de la evaluación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón, se puede comprobar la hipótesis de trabajo, misma que indica que la PTAR no se encuentra funcionando de forma correcta en sus condiciones actuales.

3.4 Propuesta para el mejoramiento del proceso de tratamiento de la PTAR y los parámetros ambientales.

La propuesta de mejora para un correcto tratamiento está ligada y relacionada en base al análisis realizado en la PTAR de la parroquia El Corazón, el proceso de tratamiento planteado consta de las siguientes mejoras:

- Implementar un sistema estricto para el cribado del agua residual especialmente sólidos gruesos y plásticos con el fin de proteger de mejor manera a los siguientes procesos que conforman la PTAR.
- Incorporar un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) para reducir de forma considerable la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) debido al incumplimiento que se pudo verificar a través del análisis realizado en la PTAR.
- Debido al incumplimiento con la normativa TULSMA 2015 para descarga de aguas tratadas a un cuerpo de agua dulce, se determinó la implementación obligatoria de un sistema de desinfección del agua tratada antes de su descarga final de forma que se evite el incumplimiento con la norma y garantizar un buen tratamiento para futuros procesos.

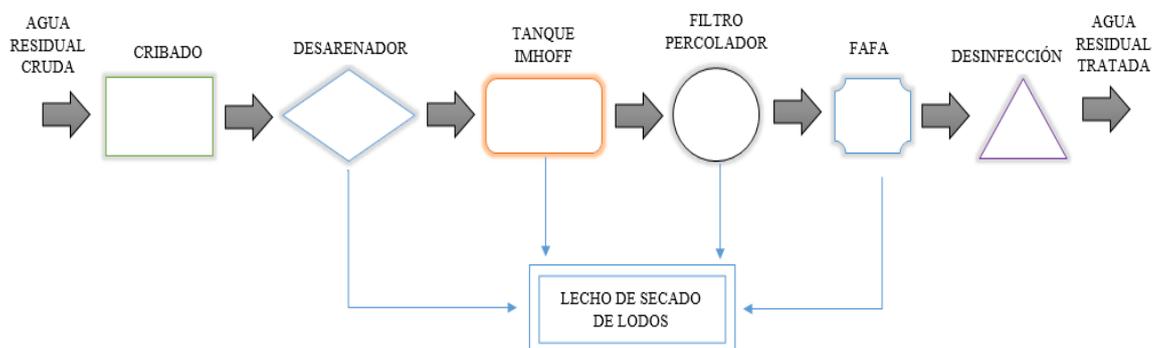


Figura 33: Propuesta para el proceso de tratamiento.

Fuente: El autor

De acuerdo a las propuestas de mejora para la remoción teórica de contaminantes presentes en las aguas residuales que ingresan a la PTAR de la parroquia El Corazón, se tendrá los siguientes resultados clasificados según las unidades de tratamiento representadas a través del rendimiento de eliminación del constituyente mostrados en la Tabla 32.

Tabla 32: Grado de remoción teórica de la propuesta de tratamiento.

UNIDADES DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DEL CONSTITUYENTE, PORCENTAJE					
	DBO	DQO	SS	Pb	N-Org c	NH3-N
Rejas de barra	0	0	0	0	0	0
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	0	0	0
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Filtros percoladores						
Alta carga, medio pétreo	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Total remoción teórica	99.05	97.15	98.65	34	75	27.75

Fuente: METCALF & EDDY [10]

3.4.1 Diseño del nuevo proceso de tratamiento

Para el nuevo proceso de tratamiento propuesto, se adoptará esencialmente el caudal de 3.42 lt/s que pertenece al caudal máximo diario del día Domingo con una población de 1752 hab que fueron tomados del Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Pangua – Cotopaxi.

3.4.1.1 Diseño del Cribado

El Cribado forma parte de la primera operación primaria que tiene como función principal la retención de los sólidos gruesos o voluminosos que tienen las aguas residuales.

DATOS

- Caudal de diseño $Q = 3.42 \text{ lt/s}$
- Velocidad del canal $V = 0.2 \text{ m/s}$
- Dimensiones del canal $1.50 \times 1.50 \text{ m}$

- Diámetro de Barrotes $b = 0.6 \text{ cm}$
- Separación entre barrotes $L = 1.2 \text{ cm}$

CÁLCULO DEL ÁREA ÚTIL DEL CANAL EN LA ZONA DE REJILLA

$$A_R = B_c * \frac{L}{L + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

$$A_R = 1.50 \text{ m} * \frac{0.012 \text{ m}}{0.012 + 0.006 \text{ m}} * \left(1 - \frac{30}{100}\right)$$

$$A_R = 0.70 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD EN LA ZONA DE REJILLA

$$P = Q * \frac{b + L}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) * V_p * L * B_c}$$

$$P = 0.0034 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{0.006 \text{ m} + 0.012 \text{ m}}{\left(1 - \frac{30}{100}\right) * 0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.012 \text{ m} * 1.50 \text{ m}}$$

$$P = 0.012 \text{ m}$$

Adoptamos entonces: $P = 1.5 \text{ cm}$

CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA GENERADA POR LA REJILLA

$$\Delta H = \frac{V_p^2}{9.1}$$

$$\Delta H = \frac{\left(0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{9.1}$$

$$\Delta H = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

CÁLCULO DEL NÚMERO DE BARROTES

$$N = \frac{B_R - L}{b + L}$$

$$N = \frac{1.50 \text{ m} - 0.012 \text{ m}}{0.006 \text{ m} + 0.012 \text{ m}}$$

$$N = 82.66 = 83 \text{ barrotes}$$

Tabla 27: Dimensiones del Cribado (Propuesta 1).

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Cantidad	83	u
Abertura	1.2	cm
Diámetro	0.6	cm
Largo	1.50	m
Ancho	1.50	m
Inclinación	45°	°

Fuente: El autor

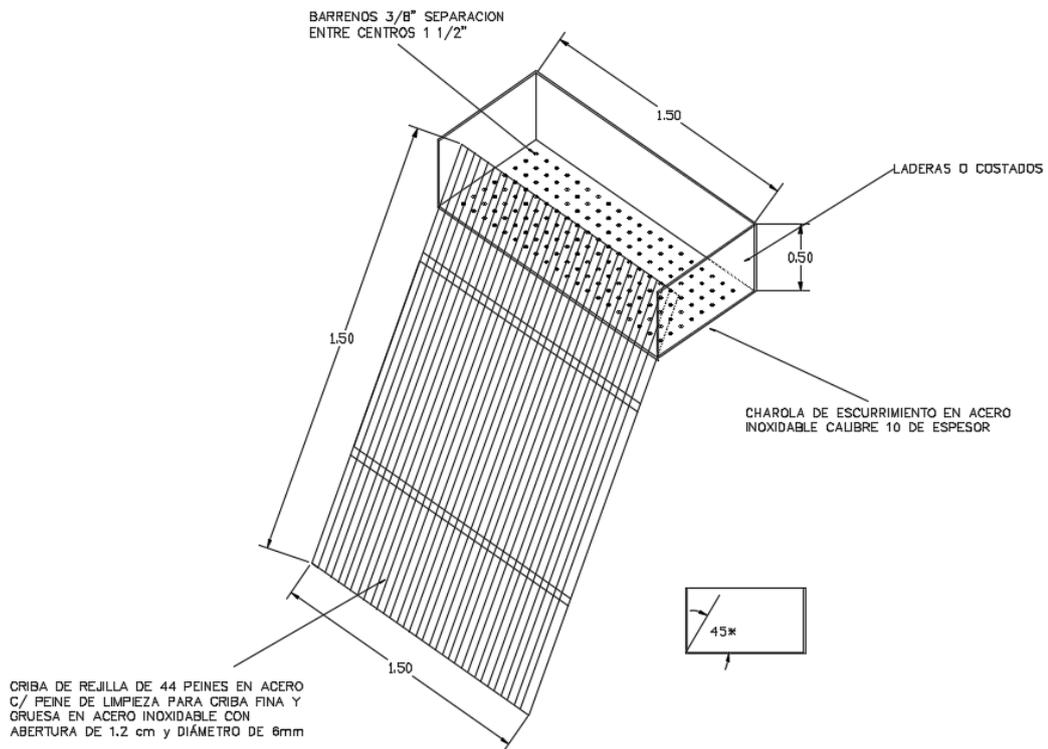


Figura 34: Cribado propuesto.

Fuente: El autor

3.4.1.2 Diseño del Desarenador

El desarenador tiene como función principal la remoción de las arenas y sólidos que se encuentran suspendidos en el agua residual a través de la sedimentación eliminando partículas con diámetros mayores a 0.2mm.

Para el diseño del desarenador se ocuparán las dimensiones que se obtuvieron en los cálculos realizados en el apartado 3.2.4.1, debido a que cumplen con los parámetros de diseño estipulados en el manual de la OPS.

DATOS

- Diámetro de la partícula $d = 0.2 \text{ mm}$
- Caudal de diseño $Q = 3.42 \text{ lt/s}$
- Densidad relativa de la arena $\rho_s = 2.65$
- Temperatura $T = 25^\circ\text{C}$
- Peso específico de las partículas $\lambda_s = 2.63 \text{ g/cm}^3$
- Aceleración de la gravedad $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Viscosidad cinemática $n = 0.8975 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$
- Factor en función del diámetro $a = 44$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO (Velocidad de escurrimiento)

$$Vd = a \sqrt{d}$$

$$Vd = 44 \sqrt{0.020} \text{ cm}$$

$$Vd = 6.22 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$Vd = 0.0622 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ANCHO DE LA CAMARA DE SEDIMENTACIÓN (asumido)

$$B = 1.5 \text{ m}$$

ALTURA DE LA CAMARA DE SEDIMENTACIÓN

$$H = \frac{Q}{v * B}$$

$$H = \frac{0.00342 \frac{m^3}{s}}{0.0622 \frac{m}{s} * 1.5m}$$

$$H = 0.036 m$$

Asumimos $H = 1.5 m$ según los criterios de diseño de la OPS.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{n} \right) d^2$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \frac{cm}{s^2} * \left(\frac{2.65 - 1}{0.8975 * 10^{-2} \frac{cm^2}{s}} \right) (0.02 cm)^2$$

$$V_s = 4.01 \frac{cm}{s}$$

CÁLCULO DE REYNOLDS

$$Re = \frac{V_s * d}{n}$$

$$Re = \frac{4.01 \frac{cm}{s} * 0.02 cm}{0.8975 * 10^{-2} \frac{cm^2}{s}}$$

$$Re = 8.94$$

$Re = 8.94 > 0.5$ (No se encuentra en la zona de la ley de Stokes)

Hacemos un reajuste para identificar la Ley aplicable correcta.

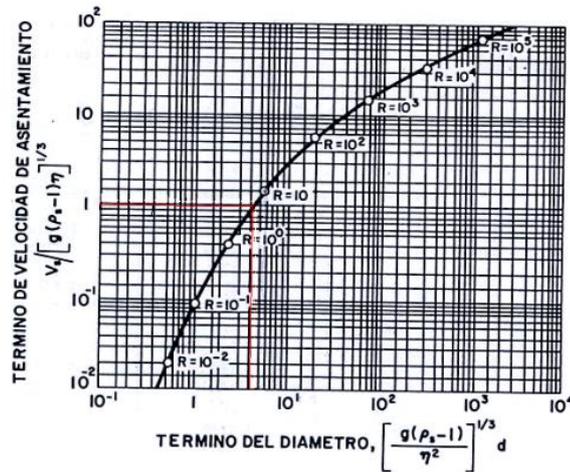


Figura 34: Valores de sedimentación.

Fuente: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores [19]

Término del diámetro:

$$Td = \left(\frac{g(ps - 1)}{n^2} \right)^{1/3} * d$$

$$Td = \left(\frac{981 \frac{cm}{s^2} * (2.65 - 1)}{(0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s})^2} \right)^{1/3} * 0.02 cm$$

$$Td = 5.44$$

Término de la velocidad de sedimentación:

$$\frac{Vs}{(g(ps - 1)n)^{1/3}} = 1$$

$$Vs = 1 * (g(ps - 1)n)^{1/3}$$

$$Vs = 1 * (981 \frac{cm}{s^2} * (2.65 - 1) * 0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s})^{1/3}$$

$$Vs = 2.44 \text{ cm/s}$$

Comprobación de Reynolds

$$Re = \frac{Vs * d}{n}$$

$$Re = \frac{2.44 \frac{cm}{s} * 0.02cm}{0.8975 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}}$$

$$Re = 4.83$$

$Re = 4.83$ (Entonces se encuentra en la zona de transición – Ley de Allen)

CÁLCULO DE ARRASTRE

$$CD = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$

$$CD = \frac{24}{4.83} + \frac{3}{\sqrt{4.83}} + 0.34$$

$$CD = 6.67$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

$$Vs = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{CD} (Ps - 1) * d}$$

$$Vs = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981 \frac{cm}{s^2}}{6.67} (2.65 - 1) * 0.02cm}$$

$$Vs = 2.54 \text{ cm/s}$$

CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN

$$Ts = \frac{H}{Vs}$$

$$Ts = \frac{1.5 \text{ m}}{0.0254 \text{ m/s}}$$

$$Ts = 59.05 \text{ s}$$

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA CÁMARA

Asumimos una eficiencia del 80% y calculamos k de acuerdo al siguiente gráfico:

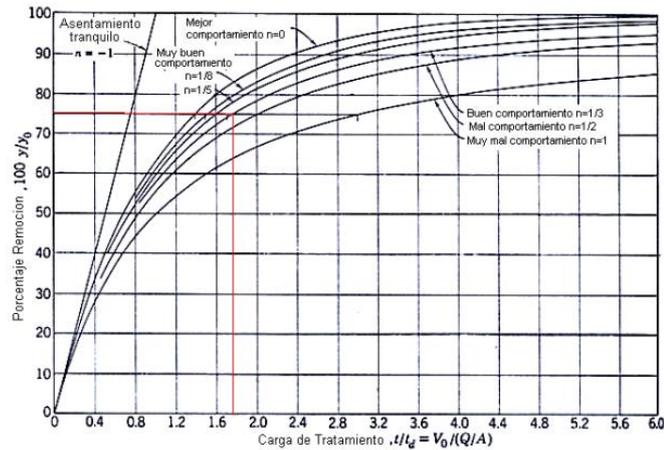


Figura 35: Curvas de comportamiento.

Fuente: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores [19]

$$L = k * Vd * Ts$$

$$L = 2.1 * 0.0622 \frac{m}{s} * 59.05 s$$

$$L = 7.71 m$$

Se asume $L = 7.75 m$

CÁLCULO DE LA TRANSICIÓN DE ENTRADA Y SALIDA

$$LT = \frac{B - H}{2 * \tan(12.5)}$$

$$LT = \frac{1.5 m - 1.5 m}{2 * \tan(12.5)}$$

$$LT = 0 m$$

Tabla 34: Dimensiones del Desarenador propuesto.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.50	m
Ancho	1.50	m
Largo	7.75	m
Transición de entrada y salida	0.0	m
Espesor de pared	0.15	m

Fuente: El autor

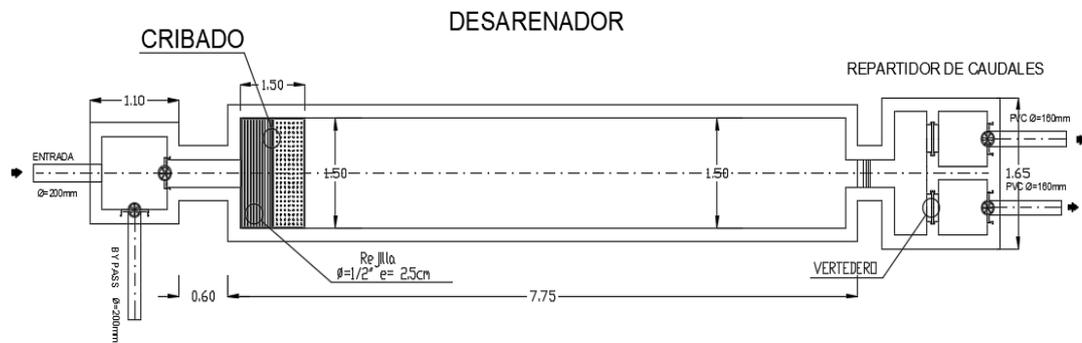


Figura 33: Desarenador propuesto

Fuente: El autor

3.4.1.3 Diseño del Tanque Imhoff

El tanque Imhoff básicamente posee dos zonas claramente separadas donde su función principal en la parte superior (zona de sedimentación) se produce la decantación y por otro lado en la parte inferior (zona de digestión) se almacena el material decantado.

Para el diseño del Tanque Imhoff se ocuparán las dimensiones que se obtuvieron en los cálculos realizados en el apartado 3.2.4.2, ya que de la misma manera cumplen con los parámetros de diseño estipulados en el manual de la OPS.

DATOS

- Población 1752 Hab
- Dotación 150 lt/hab/día
- Coeficiente de retorno 80%
- Contribución de sólidos suspendidos 70 gr

- Temperatura 25°C
- Periodo de retención (asumido) R = 2h

CÁLCULO DEL CAUDAL DE TRATAMIENTO

$$Qp = \frac{\text{Población} * \text{Dotación}}{1000} * \% \text{Contribución}$$

$$Qp = \frac{1752 \text{ Hab} * 150 \frac{\text{lt}}{\text{hab}} / \text{día}}{1000} * 0.8$$

$$Qp = 210.242 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Qp = 8.75 \text{ m}^3/\text{hora}$$

CÁLCULO DEL SEDIMENTADOR

$$A = \frac{Qp}{Cs}$$

$$A = \frac{8.75 \text{ m}^3/\text{hora}}{1.0 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} / \text{hora}}$$

$$A = 8.75 \text{ m}^2$$

Volumen es:

$$V = R * Qp$$

$$V = 2 \text{ h} * 8.75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = 17.5 \text{ m}^3$$

CÁLCULO DE LA ZONA DE RETENCIÓN

El ancho de la zona de sedimentación es:

$$\text{Área} = 4 * A^2$$

$$A = \sqrt{\frac{\text{Área}}{4}}$$

$$A = \sqrt{\frac{8.75 \text{ m}^2}{4}}$$

$$A = 1.45 \text{ m}$$

La longitud de la zona de sedimentación es:

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

$$L = 4 * A$$

$$L = 4 * 1.45 \text{ m}$$

$$L = 5.80 \text{ m}$$

La altura de la zona de sedimentación es:

$$\text{tg}60^\circ = \frac{h1}{A/2}$$

$$\text{tg}60^\circ = \frac{h1}{1.45/2}$$

$$h1 = 1.20 \text{ m}$$

CÁLCULO DEL DIGESTOR

El volumen del digestor es:

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1000}$$

$$Vd = \frac{70 * 1752 \text{ Hab} * 0.5}{1000}$$

$$V_d = 61.32 \text{ m}^3$$

Entonces el área superficial será:

$$A_{total} = 2.6\text{m} * 5.80\text{m}$$

$$A_{total} = 15.08 \text{ m}^2$$

Área de ventilación es:

$$A_L = 1.2\text{m} * 5.80\text{m}$$

$$A_L = 6.96 \text{ m}^2$$

Verificamos si representa más del 30% del total del área del tanque:

$$\frac{A_L}{A_{total}} * 100 = 46\%$$

Ahora calculamos las alturas dentro del digestor:

$$\text{tg}30^\circ = \frac{h_1}{2.6/2}$$

$$h_1 = 0.80 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{1}{3} * h_1 * 2.6\text{m} * 5.80\text{m}$$

$$V_d = 61.32\text{m}^3 = V_1 + V_2 = \left(\frac{1}{3} * 0.80\text{m} * 2.6\text{m} * 5.80\text{m}\right) + (h_2 * 2.6\text{m} * 5.80\text{m})$$

$$h_2 = 3.90 \text{ m}$$

La altura total será:

$$h_T = h_1 + h_2$$

$$h_T = 0.80 + 3.90$$

$$h_T = 4.70 \text{ m}$$

Tabla 35: Dimensiones recalculadas del Tanque Imhoff.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	4.70	m
Ancho	5.20	m
Largo	5.80	m
Espesor pared ext.	0.25	m
Espesor pared int.	0.20	m

Fuente: El autor

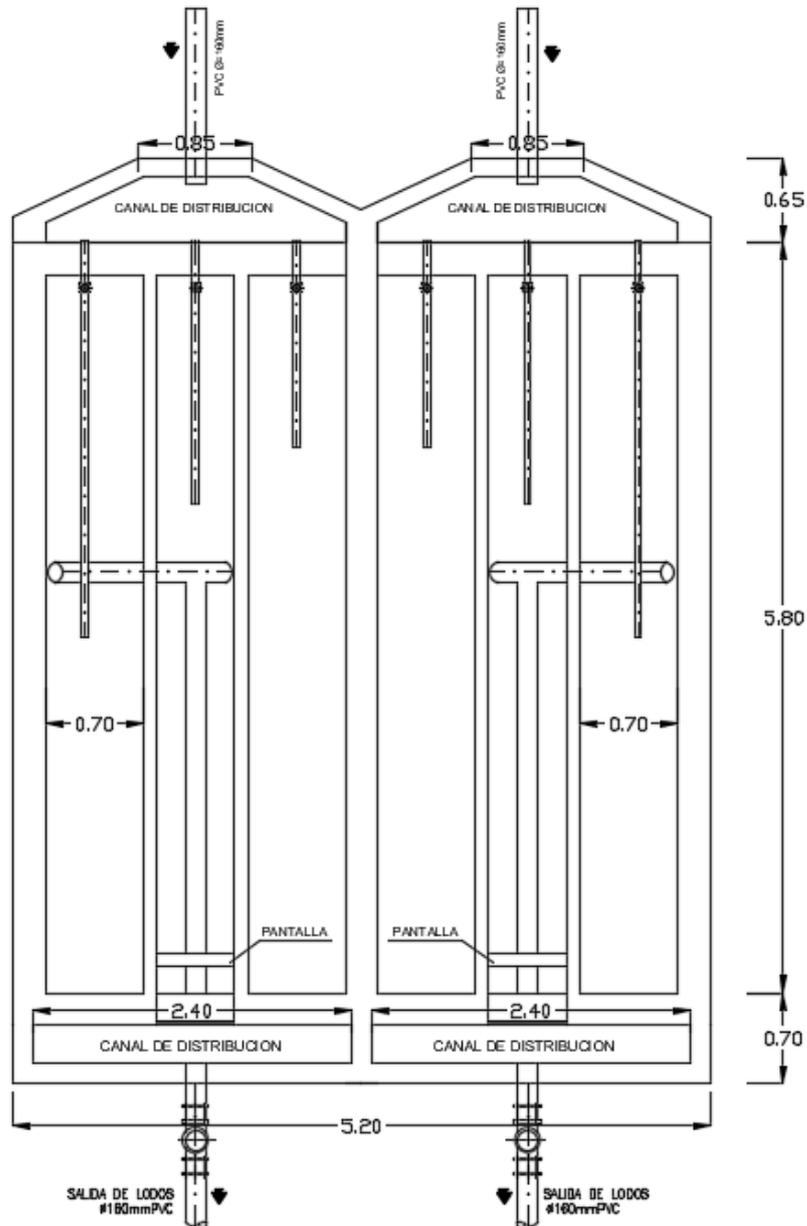


Figura 34: Tanque Imhoff propuesto

Fuente: El autor

3.4.1.4 Diseño del Filtro Percolador

El filtro percolador opera en condiciones aeróbicas donde su función principal es dejar caer el agua residual proveniente del anterior proceso sobre el medio filtrante (material granular) para reducir de forma considerable la carga contaminante.

Para el diseño del Filtro Percolador se ocuparán las dimensiones que se obtuvieron en los cálculos realizados en el apartado 3.2.4.3, ya que de la misma manera cumplen con los parámetros de diseño según el modelo BRUCE Y MERKENS.

DATOS

- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO = Sa = 223.28 mg/l
- Caudal Q=3.42lt/s=295.49 m3/día
- Remoción 35%
- Profundidad P= 1.80 m
- Temperatura T = 25°C
- Medio de soporte: Piedra de río grande
- Tamaño nominal: 12 cm

CÁLCULO DE LA CONTANTE DE TRATABILIDAD

$$K_T = 0.037 (1.08)^{T-15}$$

$$K_T = 0.037 (1.08)^{25-15}$$

$$K_T = 0.080 \text{ m/d}$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL MEDIO FILTRANTE

$$V = \frac{Q * \ln\left(\frac{S_a}{S_e}\right)}{K_T * S}$$

$$V = \frac{295.49 \text{ m}^3/\text{d} * \ln\left(\frac{223.28 \text{ mg/l}}{0.2 * 223.28 \text{ mg/l}}\right)}{0.080 \text{ m/d} * 70 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}}$$

$$V = 84.92 \text{ m}^3$$

Área superficial del filtro:

$$A = \frac{V}{P}$$

$$A = \frac{84.92 \text{ m}^3}{1.80 \text{ m}}$$

$$A = 49.18 \text{ m}^2$$

Diámetro del filtro:

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 49.18 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi = 8.0 \text{ m}$$

Las cargas hidráulicas son:

$$CH_V = \frac{Q}{V}$$

$$CH_V = \frac{295.49 \text{ m}^3/\text{día}}{84.92 \text{ m}^3}$$

$$CH_V = 3.48 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 * \text{día}}$$

$$CH_S = \frac{Q}{A}$$

$$CH_S = \frac{295.49 \text{ m}^3/\text{día}}{47.18 \text{ m}^2}$$

$$CH_S = 6.26 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

Las cargas orgánicas son:

$$CO = 223.28 \frac{mg}{l} * (293.76 \frac{m^3}{día} * 10^{-3})$$

$$CO = 65.59 \frac{kg * DBO}{día}$$

La carga orgánica es:

$$CO_V = \frac{65.59 \frac{kg * DBO}{día}}{84.43 m^3}$$

$$CO_V = 0.78 \frac{kg * DBO}{m^3 * día}$$

La carga orgánica es:

$$CO_S = \frac{65.59 \frac{kg * DBO}{día}}{46.91 m^2}$$

$$CO_S = 1.40 \frac{kg * DBO}{m^2 * día}$$

Tabla 36: Dimensiones del Filtro Percolador propuesto.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.80	m
Ancho (Diámetro)	8.00	m
Espesor de pared	0.30	m

Fuente: El autor

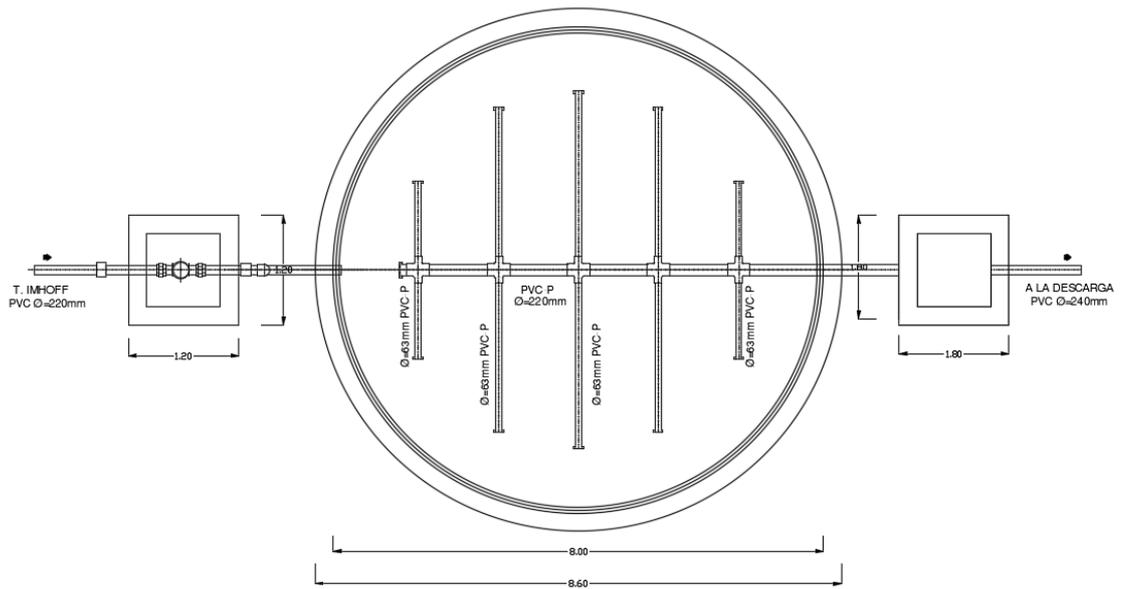


Figura 34: Tanque Imhoff propuesto

Fuente: El autor

3.4.1.5 Diseño del lecho de secado de lodos

El lecho de secado de lodos es un proceso unitario que tiene como función principal secar al aire el lodo que proviene de los procesos de la planta de tratamiento, este proceso es natural donde cierto porcentaje de agua contenida en dichos lodos se filtra y el otro porcentaje se evapora.

Para el diseño del Lecho de secado de lodos se ocuparán las dimensiones que se obtuvieron en los cálculos realizados en el apartado 3.2.4.4, ya que de igual forma cumplen con los parámetros de diseño estipulados en el manual de la OPS.

DATOS

- Población $P = 1752 \text{ Hab}$
- Contribución Percápita $Cp = 80 \text{ gr} \frac{SS}{hab \cdot día}$
- Densidad de lodos $\rho_{lodos} = 1.04 \frac{kg}{lt}$
- % sólidos 15%
- Temperatura $T = 25^{\circ}C$
- Factor compacidad relativa $Td = 30 \text{ días}$
- Profundidad de aplicación $Ha = 0.40 \text{ m}$

CÁLCULO DE LA CARGA DE SÓLIDOS (C en Kg de SS/día)

$$C = \frac{\text{Población} * \text{contribución percapita} (gr * \frac{SS}{hab * día})}{1000}$$

$$C = \frac{1752 Hab * (80 gr * \frac{SS}{hab * día})}{1000}$$

$$C = 140.16 Kg \frac{SS}{hab}$$

MASA DE SÓLIDOS QUE CONFORMAN LOS LODOS (Msd en Kg de SS/día)

$$M_{sd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$M_{sd} = \left(0.5 * 0.7 * 0.5 * (140.16 \frac{SS}{hab}) \right) + (0.5 * 0.3 * (140.16 \frac{SS}{hab}))$$

$$M_{sd} = 45.55 Kg \frac{SS}{hab}$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DIARIO DE LOSOS DIGERIDOS (Vld en lt/día)

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodos} * (\frac{\% \text{ de sólidos}}{1000})}$$

$$V_{ld} = \frac{45.55 kg \frac{SS}{hab}}{\left(1.04 \frac{kg}{lt} \right) * \left(\frac{15\%}{1000} \right)}$$

$$V_{ld} = 291.99 m^3$$

CÁLCULO DE VOLUMEN DE LODOS A EXTRAER DEL TANQUE (Vel en m3)

$$V_{el} = \frac{V_{ld} * T_d}{1000}$$

$$V_{el} = \frac{(291.99 m^3) * (30 días)}{1000}$$

$$V_{el} = 8.76 m^3$$

CÁLCULO DEL ÁREA DEL LECHO DE SECADO (Als en m2)

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{Ha}$$

$$A_{ls} = \frac{8.76m^3}{0.40m}$$

$$A_{ls} = 17.52 m^2$$

Tabla 37: Dimensiones del Lecho de secado de lodos propuesto.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	1.00	m
Ancho	3.00	m
Largo	6.00	m
Espesor pared	0.30	m

Fuente: El autor

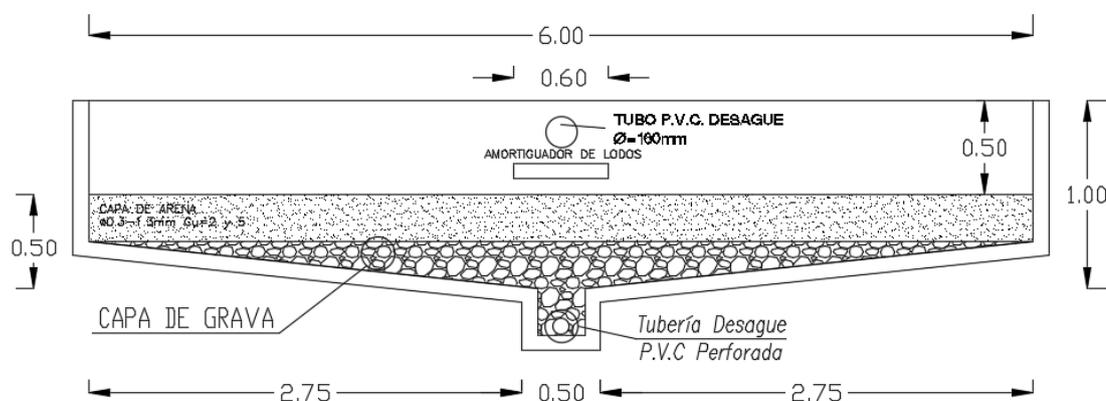


Figura 35: Lecho de secado de lodos propuesto

Fuente: El autor

3.4.1.6 Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

La función principal del filtro anaerobio de flujo ascendente es reducir hasta un 70 % el DBO y DQO mediante degradación biológica ya que el residual que proviene del proceso anterior entra al tanque y pasa por una superficie filtrante que por lo general son piedras o plástico.

DATOS

- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO = $S_o = 223.28 \text{ mg/l}$
- Caudal medio $Q_m = 9.288 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal máximo diario afluyente $Q_M = 10.112 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal máximo horario afluyente $Q_{MH} = 12.312 \text{ m}^3/\text{h}$
- Tiempo de retención hidráulica $TRH = 5.0 \text{ h}$
- Altura borde libre $h_l = 0.50 \text{ m}$
- Altura bajo dren $h_b = 0.50 \text{ m}$
- Altura de medio filtrante $h_m = 1.40 \text{ m}$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL FILTRO

$$V = Q * (TRH)$$

$$V = 9.29 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * (5 \text{ horas})$$

$$V = 46.45 \text{ m}^3$$

CÁLCULO DE LA ALTURA TOTAL DEL FILTRO

$$H = h_l + h_b + h_m$$

$$H = 0.50 \text{ m} + 0.50 \text{ m} + 1.40 \text{ m}$$

$$H = 2.40 \text{ m}$$

CÁLCULO DEL ÁREA DEL FILTRO ANAEROBIO

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{46.45 \text{ m}^3}{2.40 \text{ m}}$$

$$A = 19.35 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL MEDIO FILTRANTE

$$V_{mf} = A * h_m$$

$$V_{mf} = 19.35m^2 * 1.40 m$$

$$V_{mf} = 27.09 m^3$$

VERIFICACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL

Para el caudal medio:

$$CHS = \frac{Q_m}{A}$$

$$CHS_{Qm} = \frac{9.29 \frac{m^3}{h}}{19.35m^2} * 24$$

$$CHS_{Qm} = 11.52 \frac{m^3}{m^2d}$$

Para el caudal máximo diario:

$$CHS = \frac{Q_{QM}}{A}$$

$$CHS_{QM} = \frac{10.12 \frac{m^3}{h}}{19.35m^2} * 24$$

$$CHS_{QM} = 12.55 \frac{m^3}{m^2d}$$

Para el caudal máximo horario:

$$CHS = \frac{Q_{MH}}{A}$$

$$CHS_{QMH} = \frac{12.31 \frac{m^3}{h}}{19.35m^2} * 24$$

$$CHS_{QMH} = 15.27 \frac{m^3}{m^2d}$$

Verificación de la carga orgánica volumétrica 1.

$$COV_1 = \frac{Q * S_o}{V_{mf}}$$

$$COV_1 = \frac{9.29 \frac{m^3}{h} * 0.22 \frac{kg}{m^3}}{46.45 m^3} * 24$$

$$COV_1 = 1.06 \frac{DBO}{m^3 d}$$

Verificación de la carga orgánica volumétrica 2.

$$COV_2 = \frac{Q * S_o}{V_{mf}}$$

$$COV_2 = \frac{9.29 \frac{m^3}{h} * 0.22 \frac{kg}{m^3}}{27.09 m^3} * 24$$

$$COV_2 = 1.81 \frac{DBO}{m^3 d}$$

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL FILTRO ANAEROBIO

$$E = 100 (1 - 0.87 (TRH^{-0.5}))$$

$$E = 100 (1 - 0.87 (5.0^{-0.5}))$$

$$E = 61\%$$

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE DBO ESPERADA EN EL AFLUENTE

$$DBO_{ef} = S_o - \frac{E * S_o}{100}$$

$$DBO_{ef} = 223.28 \frac{mg}{l} - \frac{61\% * 223.28 \frac{mg}{l}}{100}$$

$$DBO_{ef} = 87.08 \frac{mg}{l}$$

Determinación de las dimensiones del filtro:

El área calculada en el filtro fue de $19.35m^2$, por lo tanto se adopta las dimensiones de 5m de largo por 4m de ancho que nos da una área de $20.0 m^2$ por lo que cumple satisfactoriamente con el área solicitada.

Tabla 28: Dimensiones del filtro anaerobio de flujo ascendente.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Altura	2.80	m
Ancho	4.00	m
Largo	5.00	m
Borde libre	0.50	m

Fuente: El autor

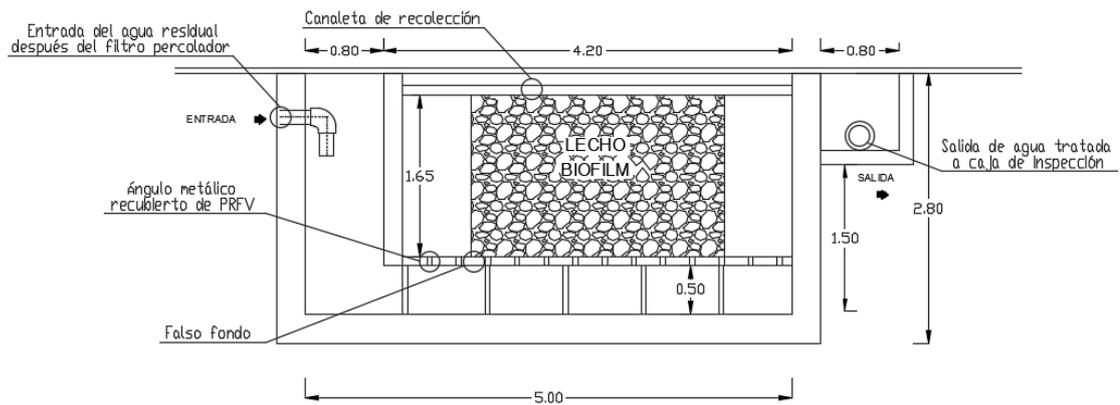


Figura 36: FAFA

Fuente: El autor

3.4.2 Comparación (PTAR actual con la PTAR propuesta)

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón ha venido presentando pequeñas fallas en el proceso de tratamiento debido a que las estructuras hidráulica no cumplen con las dimensiones estipuladas en los parámetros de diseño de los manuales, es por eso que se realiza la comparación entre el estado actual de la PTAR con la PTAR propuesta para determinar las funciones esenciales que se tendrán con la mejora he implementación de los elementos hidráulicos propuestos en el apartado 3.3.

Tabla 29: Comparación (condición actual vs propuesta)

SISTEMA	CONDICIÓN ACTUAL		PROPUESTA	
	Función	Dimensión	Función	Dimensión
Cribado	No existe	No existe	Retención de los sólidos voluminosos	Sus dimensiones se encuentran diseñadas en base a la normativa vigente.
Desarenador	Sedimentación de las partículas suspendidas en el agua residual	No cumple con la relación (largo/ancho)	Sedimentación de las partículas suspendidas en el agua residual	Sus dimensiones de encuentran diseñadas en base a los parámetros de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)
Tanque Imhoff	Decantación y digestión de material residual	Cumple con la normativa	Decantación y digestión de material residual	Sus dimensiones de encuentran diseñadas en base a los parámetros de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)
Filtro percolador	Reducción de la carga contaminante a través de material pétreo	No cumple con el área mínima	Reducción de la carga contaminante a través de material pétreo	Sus dimensiones se encuentran diseñadas en base a los parámetros del modelo de BRUCE Y MERKENS
FAFA	No existe	No existe	Remoción de la carga contaminante	Sus dimensiones se encuentran diseñadas en base a los parámetros de la norma SEMARNAT
Desinfección	No existe	No existe	Eliminación de patógenos y organismos	No existen dimensiones ya que corresponden a un debido proceso de dosificación
Lecho de secado de lodos	Recepción de los lodos producidos en el proceso de tratamiento	No cumple con el área mínima	Recepción de los lodos producidos en el proceso de tratamiento	Sus dimensiones de encuentran diseñadas en función a los parámetros de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)

Fuente: El autor

3.5 Operación y mantenimiento del proceso de tratamiento

El plan de operación y mantenimiento abarca un conjunto de actividades y procesos para llevar a cabo una labor con el fin de que se realice de manera correcta el

rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón. Por otro lado un buen plan de operación y mantenimiento alargaría la vida útil de las unidades hidráulicas de la PTAR por lo que es indispensable cumplir con las instrucciones que se detallan a continuación:

3.5.1 Cribado

1. Verificar que las rejillas se encuentre con un ángulo de inclinación de 45°.
2. Verificar que la rejilla no se encuentre obstruida con basura o materiales voluminosos.
3. Limpieza de la rejilla con la ayuda de un rastrillo y equipo de protección personal.

3.5.2 Desarenador

1. Verificar niveles de sedimentos en el fondo del canal.
2. Remoción de sedimentos con el fin de evitar una sobreacumulación.
3. Retirar todo el material y sedimentos adheridos en las paredes del canal.

3.5.3 Tanque Imhoff

1. Realizar la inspección de la cámara de revisión y sedimentación a la entrada del tanque.
2. Retirar temporalmente las tapas del tanque para que se ventile el gas acumulado.
3. Medir el nivel de lodos para su posterior extracción.
4. Retirar las natas acumuladas en la parte superior del tanque.
5. Transportar todo el material retirado hacia el lecho de secado de lodos.

El periodo de limpieza correspondiente al Tanque Imhoff se lo debe hacer cada dos días, manteniendo el protocolo de seguridad y actividad descritas anteriormente.

3.5.4 Filtro Percolador

1. Verificación de la distribución uniforme de las aguas residuales en la parte superior del tanque.
2. Limpiar cuidadosamente las tuberías en la parte superior del filtro.
3. Verificar las aperturas de las válvulas de las regaderas.
4. Abrir la válvula de paso para la salida de los lodos acumulados.

El periodo de limpieza correspondiente al Filtro Percolador se lo debe hacer cada dos días, manteniendo el protocolo de seguridad y actividad descritas anteriormente.

3.5.5 Fafa

1. Verificar el funcionamiento óptimo del filtro.
2. Remoción de los sólidos acumulados en el medio filtrante.
3. Recolección de muestras para análisis de laboratorio.

El periodo de limpieza correspondiente a la Fafa se lo debe hacer cada dos semanas, manteniendo el protocolo de seguridad y actividad descritas anteriormente.

3.5.6 Desinfección

1. Verificar el funcionamiento de las bombas inyectoras.
2. Limpieza y mantenimiento del cuarto de bombeo.

3.5.7 Lecho de secado de lodos

- 1.- Verificar que el nivel de lodos se encuentre por encima de 1.20m para su extracción.
- 2.- Suspensión de las actividades en el proceso de tratamiento.
- 3.- Extracción de todo el material acumulado en el tanque y reubicado según disponga la autoridad pertinente.

Tabla 30: Actividades y mantenimiento de la PTAR.

Sistema	Actividad	Frecuencia	Personal	Material requerido
Cribado	Retirar el material retenido en la rejilla, secarlos y ubicarlos como residuos sólidos domiciliarios.	Diariamente	Un operador	Elementos de protección personal, rastrillo, guantes y recipiente para los residuos recojidos.
Desarenador	Inspección y limpieza de los sedimentos	Diariamente	Un operador	Elementos de protección personal, para y medidor de sedimentos.
Tanque Imhoff	Remoción de natas acumuladas y abrir la válvula de paso del tubo para la salida de lodos.	Cada dos días	Un operador	Elementos de protección personal, rastrillo, guantes y recipiente para los residuos recojidos.
Filtro percolador	Inspección del tubo, limpieza de sus aberturas y verificar las válvulas para la distribución uniforme.	Cada dos días	Un operador	Elementos de protección personal.
FAFA	Inspección, limpieza de natas, limpieza del filtro y tuberías.	Cada dos semanas	Dos operadores	Elementos de protección personal, rastrillo, guantes y recipiente para los residuos recojidos.
Desinfección	Inspección de la dosificación requerida	Diariamente	Un operador	Equipos requeridos por el profesional a cargo
Lecho de secado de lodos	Inspección del secado de los lodos	Una vez a la semana	Un operador	Elementos de protección personal, carretilla y pala.

Fuente: [21]

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se realizó el levantamiento de la información necesaria de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón, siendo útiles los diferentes datos recopilados para la evaluación de la PTAR y sus componentes, dicha planta está en funcionamiento desde el año 2014 teniendo un periodo de funcionamiento aproximado de apenas 7 años y un periodo de diseño de 20 años pero la eficiencia de la misma ha venido siendo de forma parcial en los últimos meses debido a ciertas deficiencias en sus componentes hidráulicos.
- Se analizó el proceso de tratamiento de la PTAR donde se pudo diagnosticar el funcionamiento del Desarenador mediante el manual de la Organización Panamericana de la Salud en la que se identificó principalmente a través de los cálculos realizados en el ítem 3.2.4.1 que la relación largo/ancho recalculado se tuvo un valor de 5, por lo tanto, cumple con el criterio de diseño y se encuentra dentro del límite aceptable de la OPS que establece que debe estar dentro de los límites de 3-6, mientras que la relación largo/ancho del Desarenador que actualmente está en operación tiene un valor de 8 por lo cual no cumple con lo estipulado en los criterios de diseño de dicho manual.
- Se analizó el proceso de tratamiento de la PTAR donde se pudo diagnosticar el funcionamiento del Filtro Percolador mediante el modelo de Bruce y Merkens en la que se identificó principalmente a través de los cálculos realizados en el ítem 3.2.4.3 que el diámetro del filtro percolador recalculado fue de 8.0m, por lo que supera un metro al diámetro del filtro que se encuentra actualmente construido de forma paralela con un diámetro total de que es de 7.0m, lo cual se puede decir que debido esta variación en el diámetro, no ayuda a una correcta

remoción de contaminantes y tiene que ver directamente según el grado de remoción teórica (Tabla 31).

- Se analizó el proceso de tratamiento de la PTAR donde se pudo diagnosticar el funcionamiento del Lecho de Secado de Lodos mediante el manual de la Organización Panamericana de la Salud en la que se identificó principalmente a través de los cálculos realizados en el ítem 3.2.4.4 que el área recalculada fue de 17.52 m² que es completamente diferente al área del lecho de secado de lodos que actualmente se encuentra en operación con un área de 13.63 m², lo cual se concluye que debido a esta insuficiencia en el área del lecho de secado de lodos actual, no puede abarcar la solicitación de lodos que produce la PTAR.
- Se evaluó el proceso de tratamiento donde se compararon los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio realizados en los que se analizaron cinco componentes principales, dándonos como resultados que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la salida a la PTAR, no cumplen con el límite máximo aceptable de descarga que estipula la normativa actual TULSMA 2015.
- En base a la remoción real y teórica de los contaminantes a la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia El Corazón, se planteó un nuevo proceso de tratamiento que permitan mejorar los parámetros analizados y por ende cumplir con las normativas ambientales vigentes, dicho proceso de tratamiento consta con: una criba, un tanque Imhoff, un filtro percolador, un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), un lecho de secado de lodos y un sistema estricto de desinfección para el agua tratada antes de su descarga final al cuerpo dulce.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda capacitar al personal operario para llevar un estricto control de mantenimiento de cada uno de los procesos de tratamiento que conforman la PTAR.
- Realizar un muestreo periódico anual del agua residual para los respectivos análisis de laboratorio y por ende comprobar si los parámetros analizados se encuentran en el rango aceptable que establece la norma ambiental Tulsma.
- Se recomienda llevar el plan de operación y mantenimiento activo para prevenir futuros daños o colapsos a la PTAR.
- Se recomienda tener los equipos de bioseguridad necesarios para llevar a cabo cada una de las actividades sin ningún problema, además de la implementación de señalización dentro y fuera de las instalaciones.
- Es de mucha importancia poner en funcionamiento la línea de lodos ya que puede ocasionar problemas a las unidades de tratamiento si dicho sistema colapsa o deja de funcionar.
- Se recomienda colocar una cubierta transparente en el lecho de secado de lodos para proteger los desechos provenientes de la PTAR y garantizar su descomposición sin que lo afecten las fuertes lluvias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo,” 2015. [Online]. Available: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>. [Accessed: 01-Jan-2021].
- [2] A. Toledo, “El agua en México y el mundo,” *Gac. Ecológica*, vol. 64, pp. 9–18, 2002.
- [3] A. Jouravlev, “Recursos Naturales e Infraestructura,” *Los Serv. agua potable y Saneam. en el umbral del siglo XXI*, vol. 74, pp. 16–20, 2004.
- [4] A. Noyola, “Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica,” pp. 2–7, 2012.
- [5] SENAGUA, “Secretaría del agua,” 2014. [Online]. Available: <https://www.agua.gob.ec/ley-de-aguas/>. [Accessed: 06-Jan-2021].
- [6] J. Arocutipa, “Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito alto Inambari - Sandía,” Universidad Nacional del Altiplano, 2013.
- [7] C. Fernández Jáuregui and A. Crespo Milliet, “El agua, recurso único,” *El derecho Hum. al agua situación actual y retos Futur.*, pp. 9–18, 2008.
- [8] SCIOTECA, “Aguas Residuales en América Latina.” [Online]. Available: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/901>. [Accessed: 18-Jan-2021].
- [9] ACURED, “Cantón Pangua - Ecuador.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/provinciadecotopaxil/canton-pangua>. [Accessed: 18-Jan-2021].
- [10] METCALF and I. Eddy, “Tratamiento, vertido y reutilización,” in *Ingeniería de aguas residuales*, A. García, Ed. España - Madrid, 1995, pp. 53–56.
- [11] A. Reynolds, “Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica,” *Identificación Probl.*, no. Agua Latinoamérica, pp. 1–4, 2002.

- [12] S. Navarro, “Aguas Residuales y Agua Potable,” *Introducción a la Ingeniería Civil*, pp. 3–5, 2012.
- [13] M. B. Portero Pesantes and V. A. Amat Marchán, “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo,” Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2017.
- [14] C. López Vázquez, G. Builtrón Méndez, H. García, and F. Cervantes Carrillo, *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. Cambridge: Alliance House, 2017.
- [15] D. J. Llerena Guevara and T. P. Ramos Ramos, “Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Estatal Amazónica,” Universidad Estatal Amazónica, 2018.
- [16] R. Rojas, “Gestión integral de tratamiento de aguas residuales,” *Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales*, 2002. [Online]. Available: <http://docplayer.es/11882686-Conferencia-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>.
- [17] TULSMA, *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: RECURSO AGUA*. Quito, 2015, pp. 20–25.
- [18] D. F. Félix Astudillo and D. A. Rikeros Gehrenbeck, “Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el cantón Durán.,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
- [19] Organización Panamericana de la Salud, “Guía para el diseño de Desarenadores y Sedimentadores.,” *Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.*, 2005. [Online]. Available: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS_2005b_Guía_desarenadores_y_sedimentadores.pdf.
- [20] Organización Panamericana de la Salud, “Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de estabilización.,” *Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.*, 2005. [Online]. Available: <https://iris.paho.org/discover>.

- [21] R. Vilaña, “Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para los barrios Villaflora y El Rosario, parroquia Pintag, cantón Quito, provincia de Pichincha, Quito.,” 2016.

ANEXOS

Fotografías



Figura 38. Planta de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia El Corazón.



Figura 39. Mediciones de las propiedades geométricas de la PTAR



Figura 40. Medición de caudales.



Figura 41. Toma de muestra del agua residual a la entrada de la PTAR.



Figura 42. Toma de muestra del agua residual a la salida de la PTAR.



Figura 43. Estado actual del Desarenador.



Figura 44. Estado actual del Tanque Inhoff



Figura 45. Estado actual del Filtro Percolador.



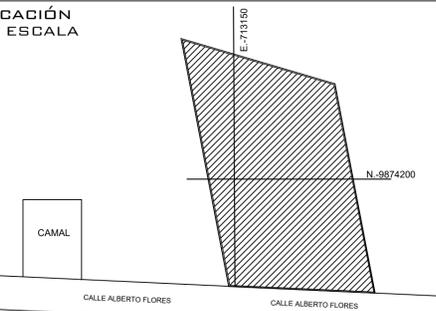
Figura 46. Estado actual del Lecho de Secado de Lodos.

IMPLANTACIÓN Y ELEVACIONES

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



UBICACIÓN
 SIN ESCALA



CANTÓN:
PANGUA

PARROQUIA:
EL CORAZÓN

TEMA:
 "EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI"

CONTIENE:
IMPLANTACIÓN - ELEVACIONES

CALIFICADORES:

MENG. LENIN MALDONADO

AUTOR:

JORGE DANIEL PILLAPA PONLUISA

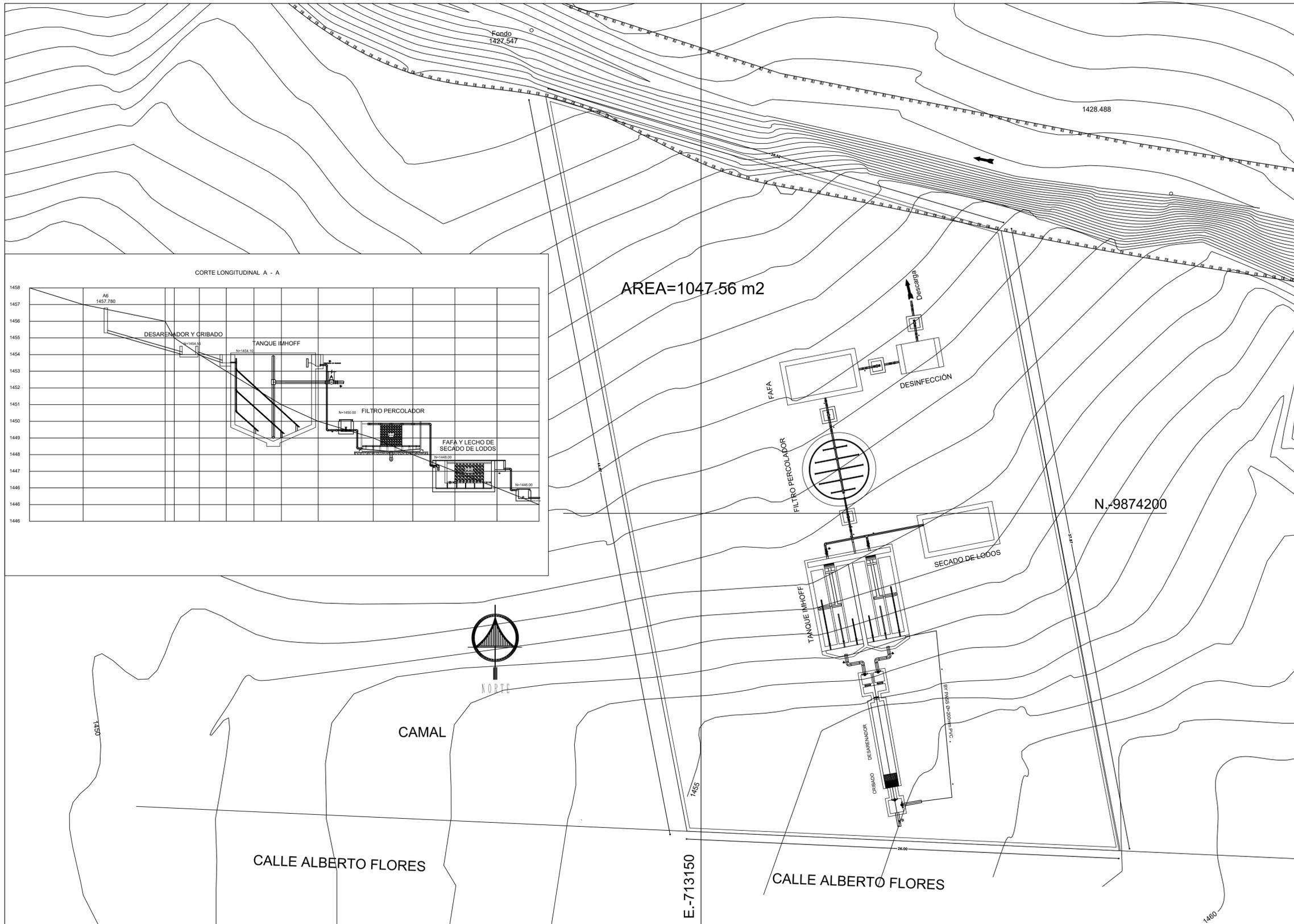
TUTOR:
MENG. LENIN MALDONADO

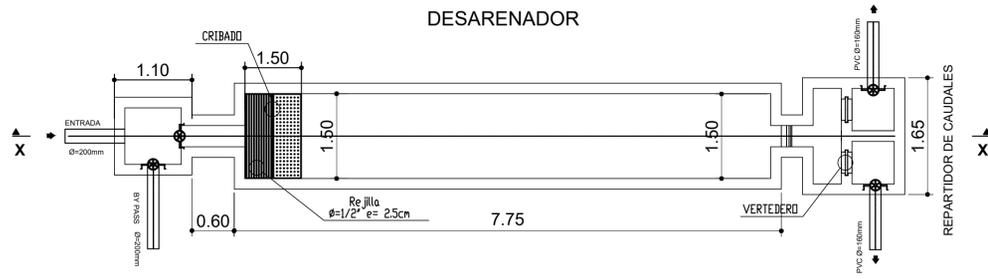
CLAVE:
ARQ
Nº. 01 DE 3

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
SEPTIEMBRE

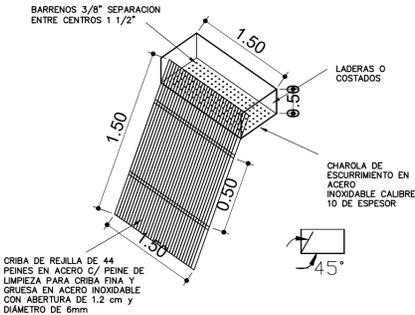
OBSERVACIONES:





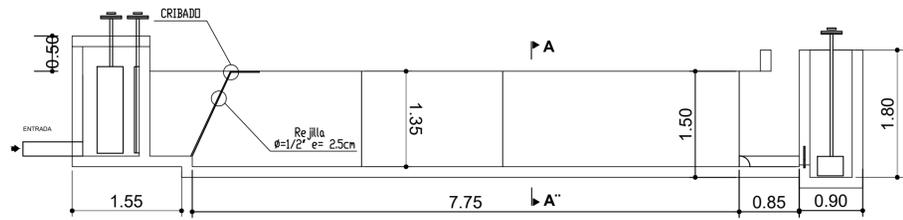
DESARENADOR

ESCALA 1:50



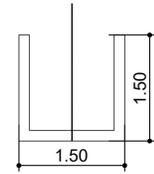
CRIBADO

ESCALA 1:25



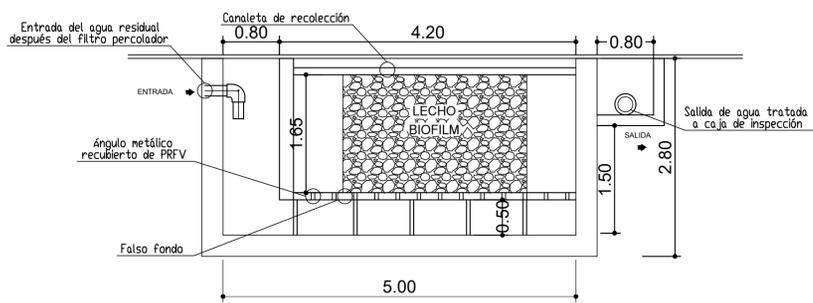
CORTE X - X''

ESCALA 1:50



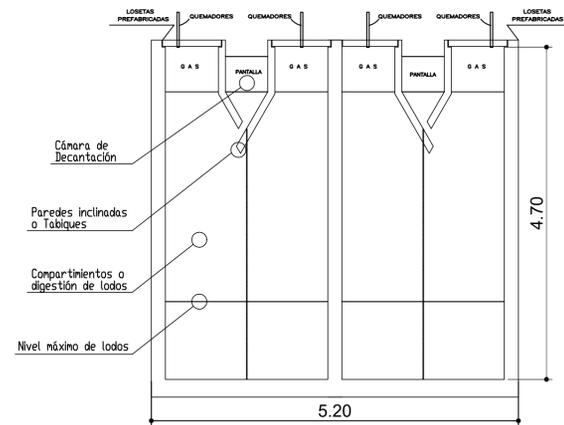
CORTE A - A''

ESCALA 1:50



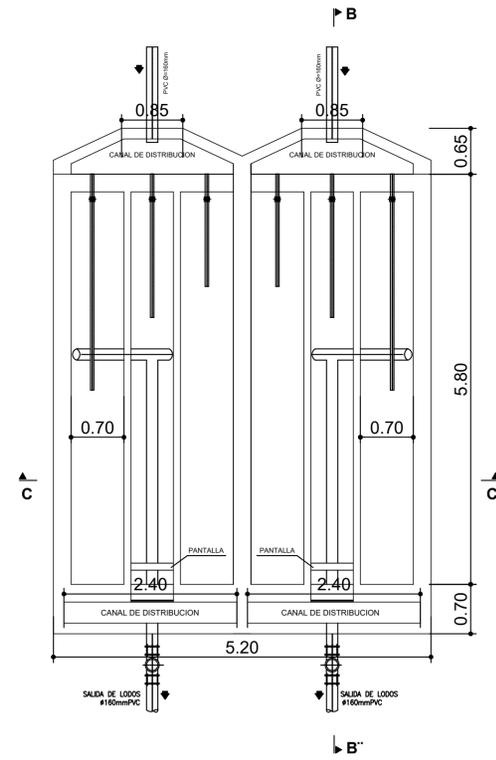
FAFA

ESCALA 1:50



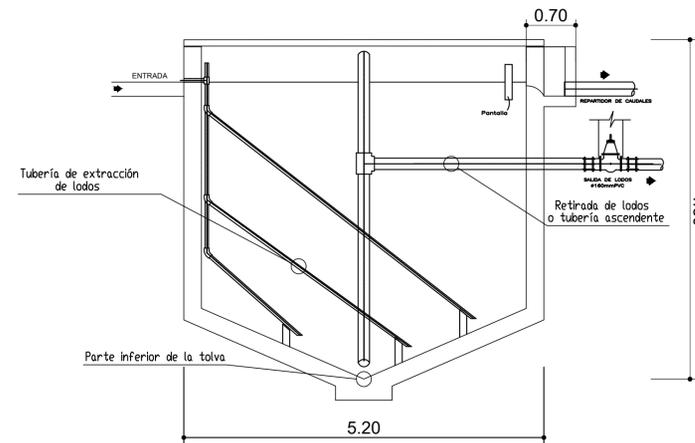
CORTE C - C''

ESCALA 1:50



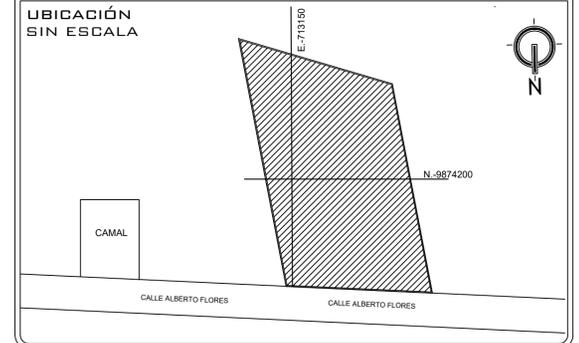
TANQUE IMHOFF

ESCALA 1:50



CORTE B - B''

ESCALA 1:50



CANTÓN: PANGUA PARROQUIA: EL CORAZÓN

TEMA: "EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI"

CONTIENE: DESARENADOR - CRIBADO - TANQUE IMHOFF

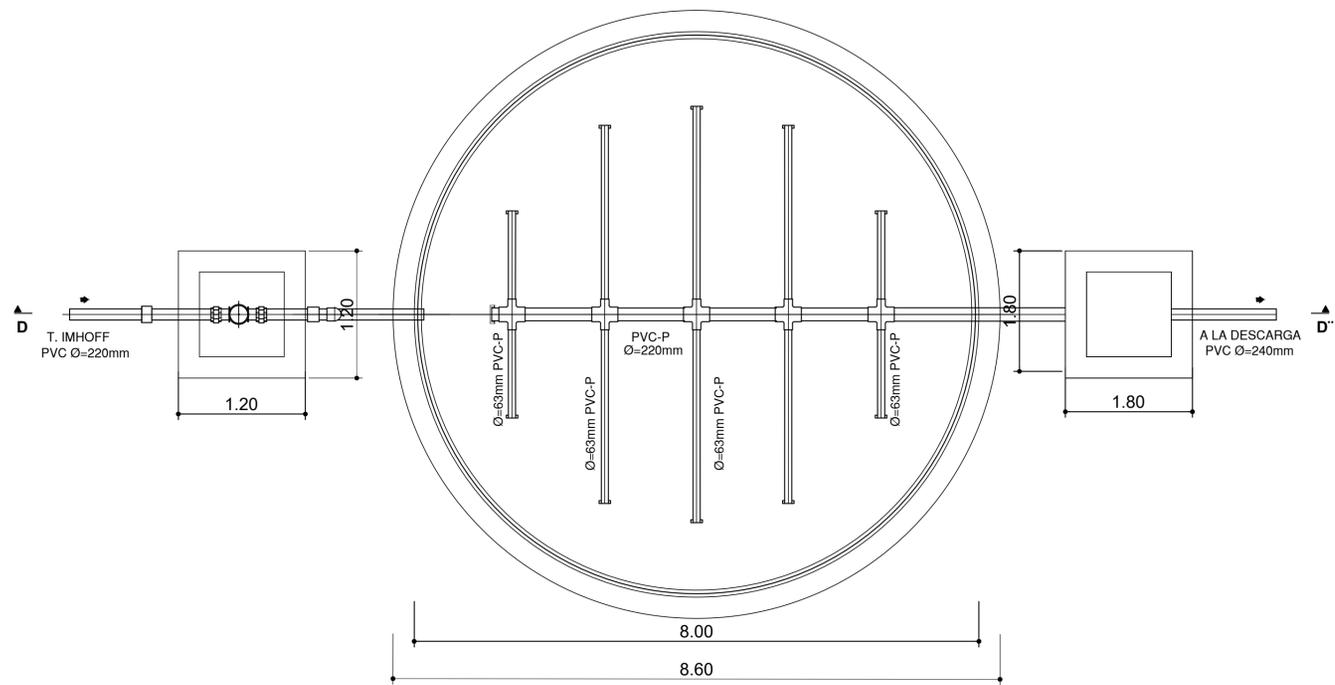
APROBADO: MENG. LENIN MALDONADO

AUTOR: JORGE DANIEL PILLAPA PONLUISA

TUTOR: MENG. LENIN MALDONADO

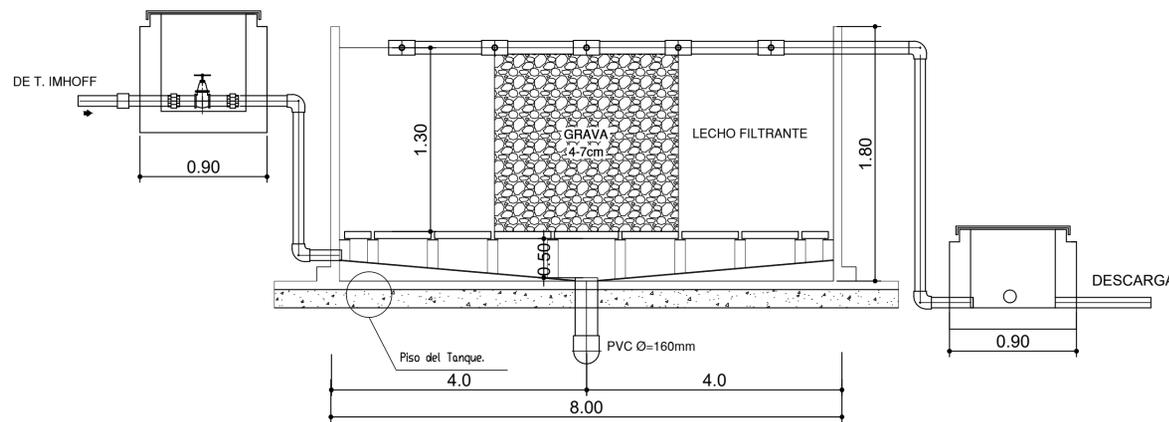
CLAVE: ARQ ESCALA: INDICADA
Nº. 02 DE 3 FECHA: SEPTIEMBRE

OBSERVACIONES:



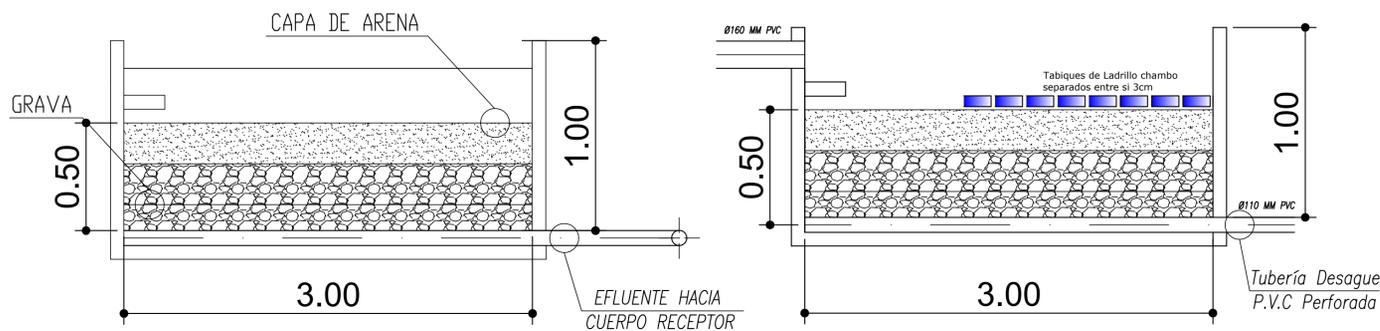
TANQUE IMHOFF

ESCALA 1:50



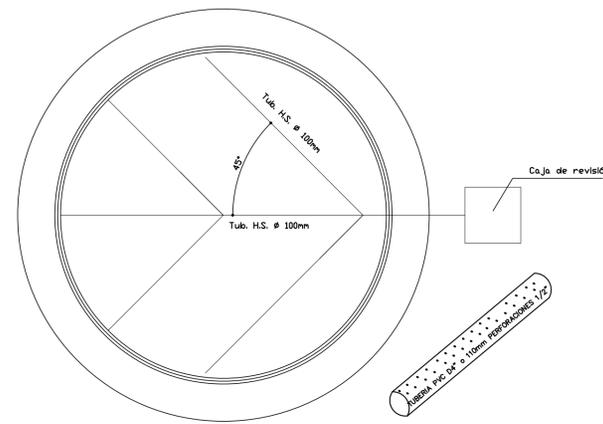
CORTE D - D''

ESCALA 1:50



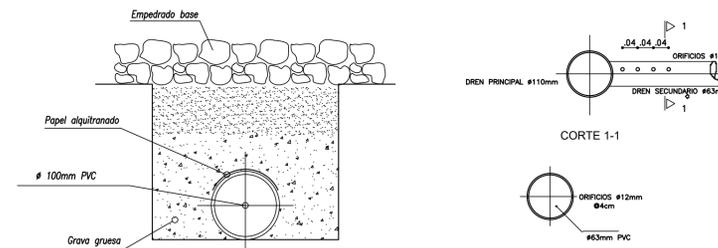
LECHO DE SECADO DE LODOS

ESCALA 1:25



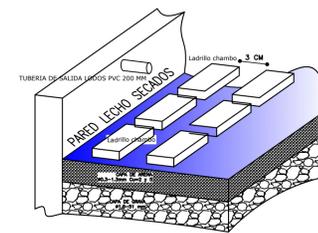
SISTEMA DE DRENAJE

ESCALA 1:75



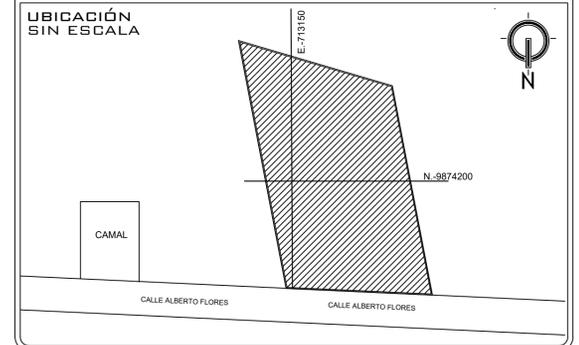
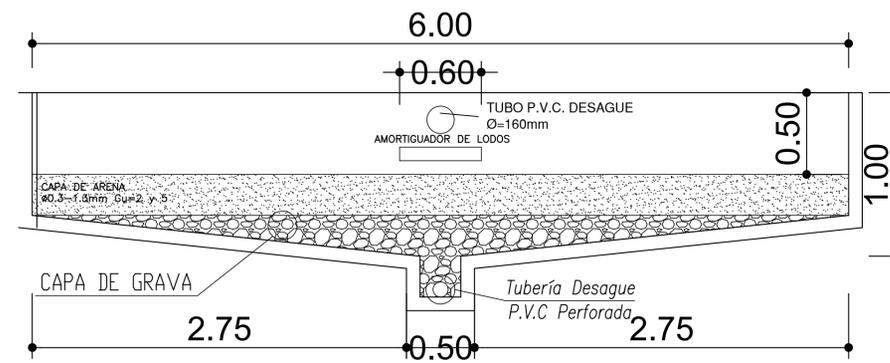
DETALLES DE DRENES

ESCALA S/E



ISOMETRÍA AL INGRESO LECHO SECADO

ESCALA S/E



CANTÓN: PANGUA PARROQUIA: EL CORAZÓN

TEMA: "EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA EL CORAZÓN, CANTÓN PANGUA, PROVINCIA COTOPAXI"

CONTIENE: DESARENADOR - CRIBADO - TANQUE IMHOFF

CALIFICADORES: MENG. LENIN MALDONADO

AUTOR: JORGE DANIEL PILLAPA PONLUISA

TUTOR: MENG. LENIN MALDONADO

CLAVE: ARQ N.º 03 DE 3 ESCALA: INDICADA FECHA: SEPTIEMBRE

OBSERVACIONES: