



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL HOSPITAL GENERAL AMBATO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR:

BYRON JOEL TIBANLOMBO CHISAG

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL HOSPITAL GENERAL AMBATO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: BYRON JOEL TIBANLOMBO CHISAG

DIRECTOR: Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA, MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

©2023, Byron Joel Tibanlombo Chisag

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Byron Joel Tibanlombo Chisag, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

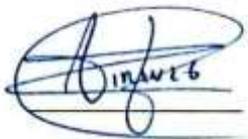
Riobamba, 02 de agosto de 2023



Byron Joel Tibanlombo Chisag
C.I. 180372700-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL HOSPITAL GENERAL AMBATO**, realizado por el señor: **BYRON JOEL TIBANLOMBO CHISAG**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Irene del Carmen Gavilánez Terán, PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-08-02
Dr. José Gerardo León Chimbolema, MSc DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-08-02
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-08-02

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, familia y todas aquellas personas que supieron brindarme su apoyo incondicional.

Joel

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza para seguir luchando día a día. A mí mismo, por creer en mí y nunca darme por vencido hasta cumplir mis objetivos. A mi familia, mi madre Luz María, mi padre Julio, mi hermano David y mi hermana Nelly por ser ese pilar fundamental en esta etapa de mi vida. Al Doctor Gerardo León DIRECTOR DE TESIS, por compartir sus conocimientos para que este proyecto se haya culminado con éxito. Al Ingeniero Andrés Beltrán ASESOR DE TESIS, por su colaboración y asesoramiento para el desarrollo de mi trabajo de titulación. Al Ingeniero Leopoldo Herrera INSPECTOR SANITARIO DEL HGA por permitirme realizar el proyecto de tesis en esa institución, brindarme su tiempo, consejos y la información necesaria para realizar mi proyecto de titulación. Finalmente agradezco a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por haber conocido docentes y amigos que han formado parte de mi vida estudiantil, gracias totales.

Joel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Objetivos	4
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. <i>Agua</i>	6
2.2.3. <i>Deterioro de la calidad del agua</i>	8
2.2.4. <i>Aguas residuales</i>	8
2.2.4.1. <i>Tipos de aguas residuales</i>	8
2.2.4.2. <i>Características de las aguas residuales y sus procedencias</i>	9
2.2.5. <i>Aguas residuales hospitalarias</i>	11
2.2.5.1. <i>Fuentes de las emisiones hospitalarias</i>	12
2.2.5.2. <i>Contaminación hídrica por aguas residuales hospitalarias en el Ecuador</i>	13
2.2.6. <i>Tratamiento de aguas</i>	13
2.2.7. <i>Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)</i>	13
2.2.7.1. <i>PTAR en el Ecuador</i>	14
2.2.8. <i>Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales</i>	15

2.2.8.1.	<i>Pretratamiento</i>	16
2.2.8.2.	<i>Tratamiento primario</i>	16
2.2.8.3.	<i>Tratamiento secundario</i>	16
2.2.8.4.	<i>Tratamiento terciario</i>	16
2.2.8.5.	<i>Métodos del proceso de tratamiento de aguas residuales</i>	17
2.2.9.	<i>Tratamientos de aguas residuales hospitalarias</i>	17
2.2.10.	<i>Dimensionamiento de la PTAR</i>	18
2.2.10.1.	<i>Rejillas</i>	18
2.2.10.2.	<i>Homogenización</i>	22
2.2.10.3.	<i>Tanque mezclador para coagulación-floculación</i>	27
2.2.10.4.	<i>Sedimentación</i>	32

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	35
3.1.	Tipo de investigación	35
3.2.	Diseño de la investigación	36
3.3.	Localización del proyecto	36
3.4.	Técnicas de recolección de datos	37
3.4.1.	<i>Medición de caudal</i>	37
3.4.1.1.	<i>Método</i>	37
3.4.1.2.	<i>Lugar de muestreo</i>	37
3.4.1.3.	<i>Equipos y materiales</i>	38
3.4.1.4.	<i>Periodo de medición</i>	38
3.4.1.5.	<i>Procedimiento</i>	39
3.4.2.	<i>Muestreo del agua residual</i>	39
3.4.3.	<i>Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual</i>	40
3.4.3.1.	<i>Cumplimiento de la normativa ambiental vigente</i>	41
3.4.4.	<i>Bases de diseño</i>	41
3.4.4.1.	<i>Período de diseño</i>	41
3.4.4.2.	<i>Proyección poblacional</i>	41
3.4.4.3.	<i>Dotación neta</i>	42
3.4.5.	<i>Caudal de diseño</i>	42
3.4.5.1.	<i>Caudal medio diario</i>	42
3.4.5.2.	<i>Caudal de infiltración</i>	43
3.4.5.3.	<i>Caudal de conexiones erradas</i>	43

3.4.5.4.	<i>Caudal máximo diario</i>	43
3.4.5.5.	<i>Caudal de diseño total</i>	44
3.4.6.	<i>Tratabilidad del agua residual</i>	44
3.4.6.1.	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	44
3.4.6.2.	<i>Prueba de Jarras</i>	45
3.4.7.	<i>Diseño de la PTAR</i>	46
3.4.7.1.	<i>Selección del tren de tratamiento</i>	46
3.4.7.2.	<i>Elaboración de planos</i>	47
3.4.8.	<i>Evaluación económica</i>	47

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	48
4.1.	Medición del caudal	48
4.1.1.	<i>Validación del caudal</i>	51
4.2.	Caracterización del agua residual	51
4.2.1.	<i>Evaluación de la caracterización del agua residual</i>	53
4.3.	Pruebas de tratabilidad	59
4.3.1.	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	59
4.3.2.	<i>Prueba de jarras</i>	59
4.4.	Diseño de la PTAR	61
4.4.1.	<i>Tren de tratamiento</i>	61
4.5.	Base de diseño	62
4.5.1.	<i>Proyección poblacional</i>	63
4.6.	Caudal de diseño	63
4.6.1.	<i>Caudal medio diario</i>	63
4.6.2.	<i>Caudal de infiltración</i>	63
4.6.3.	<i>Caudal de conexiones erradas</i>	64
4.6.4.	<i>Caudal máximo diario</i>	64
4.6.5.	<i>Caudal de diseño total</i>	64
4.6.6.	<i>Dimensionamiento de la PTAR</i>	65
4.6.6.1.	<i>Sistema de rejillas</i>	65
4.6.6.2.	<i>Homogeneización</i>	67
4.6.6.3.	<i>Tanque de agitación para Coagulación - Floculación</i>	70
4.6.6.4.	<i>Sedimentador circular</i>	74
4.6.7.	<i>Resumen del dimensionamiento de cada equipo</i>	77

4.7.	Rendimiento del proceso a nivel de laboratorio.....	79
4.8.	Presupuesto del proyecto	81
	CONCLUSIONES.....	84
	RECOMENDACIONES.....	85
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Características del agua.....	6
Tabla 2-2:	Aguas residuales	8
Tabla 2-3:	Características de las aguas residuales.....	9
Tabla 2-4:	Contenido de aguas residuales	11
Tabla 2-5:	Derivados provenientes hospitalarios	12
Tabla 2-6:	Total de PTAR en Ecuador	14
Tabla 2-7:	Características y métodos	17
Tabla 2-8:	Dimensiones recomendadas para el ancho del canal	19
Tabla 2-9:	Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica	19
Tabla 2-10:	Coeficiente de pérdida para rejillas de acuerdo con su forma.....	21
Tabla 2-11:	Gradiente de velocidad G y tiempo de detención típico para operaciones de mezclado y floculación.....	26
Tabla 2-12:	Características técnicas del tanque floculador	27
Tabla 2-13:	Valores de K para las necesidades de energía de mezclado.....	30
Tabla 2-14:	Criterios de diseño para sedimentador circular	32
Tabla 3-1:	Ubicación geográfica del Hospital General Ambato	36
Tabla 3-2:	Ubicación del punto de descarga de las aguas residuales	38
Tabla 3-3:	Equipo y materiales.....	38
Tabla 3-4:	Formato del período de medición	38
Tabla 3-5:	Período de medición	39
Tabla 3-6:	Parámetros de análisis.....	40
Tabla 3-7:	Constante para el caudal de infiltración (L/s. Ha).....	43
Tabla 3-8:	Relación entre parámetros DBO5 y DQO.....	44
Tabla 4-1:	Resultados diarios del caudal.....	48
Tabla 2-4:	Resultados de la caracterización del agua residual	51
Tabla 4-3:	Evaluación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente	53
Tabla 4-4:	Resultado de la prueba de jarras	59
Tabla 4-5:	Resumen del cálculo de caudales.....	65
Tabla 4-6:	Dimensión del sistema de rejillas.....	77
Tabla 4-7:	Dimensión del homogeneizador.....	77
Tabla 4-8:	Dimensión del tanque coagulador-floculador	78
Tabla 4-9:	Dimensión del sedimentador circular	79
Tabla 4-10:	Comparación del agua residual con el agua tratada	79

Tabla 4-11: Carga contaminante del agua residual y el agua tratada	81
Tabla 4-12: Presupuesto de la PTAR	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Etapas de la planta de tratamiento.....	15
Ilustración 2-2:	Funcionamiento del sistema	18
Ilustración 2-3:	Forma de rejillas.....	21
Ilustración 3-1:	Ubicación de la zona de estudio	37
Ilustración 4-1:	Caudal (L/s) obtenido en el Día 1	48
Ilustración 4-2:	Caudal (L/s) obtenido en el Día 2	49
Ilustración 4-3:	Caudal (L/s) obtenido en el Día 3	49
Ilustración 4-4:	Caudal (L/s) obtenido en el Día 4	50
Ilustración 4-5:	Caudal mínimo, promedio y máximo (L/s), Promedio diario	50
Ilustración 4-6:	Parámetros que no cumplen con la normativa ambiental vigente	56
Ilustración 4-7:	Dosis de coagulante PAC (mL) vs Turbiedad final (NTU).....	60
Ilustración 4-8:	Dosis de coagulante CHEMFLOC (mL) vs Turbiedad final (NTU).....	61
Ilustración 4-9:	Tren de tratamiento	62
Ilustración 4-10:	Porcentaje de rendimiento del tratamiento	80

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1	20
Ecuación 2-2	20
Ecuación 2-3	20
Ecuación 2-4	20
Ecuación 2-5	21
Ecuación 2-6	22
Ecuación 2-7	22
Ecuación 2-8	23
Ecuación 2-9	23
Ecuación 2-10	23
Ecuación 2-11	24
Ecuación 2-12	24
Ecuación 2-13	24
Ecuación 2-14	25
Ecuación 2-15	25
Ecuación 2-16	25
Ecuación 2-17	25
Ecuación 2-18	26
Ecuación 2-19	27
Ecuación 2-20	28
Ecuación 2-21	28
Ecuación 2-22	28
Ecuación 2-23	29
Ecuación 2-24	29
Ecuación 2-25	29
Ecuación 2-26	29
Ecuación 2-27	30
Ecuación 2-28	30
Ecuación 2-29	30
Ecuación 2-30	31
Ecuación 2-31	31
Ecuación 2-32	31
Ecuación 2-33	33

Ecuación 2-34	33
Ecuación 2-35	33
Ecuación 2-36	33
Ecuación 2-37	34
Ecuación 2-38	34
Ecuación 2-39	34
Ecuación 2-40	35
Ecuación 2-41	35
Ecuación 3-1	42
Ecuación 3-2	43
Ecuación 3-3	43
Ecuación 3-4	43
Ecuación 3-5	43
Ecuación 3-6	44
Ecuación 3-7	44
Ecuación 3-8	44
Ecuación 3-9	46
Ecuación 3-10	46

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
mL	Mililitros
PAC	Policloruro de Aluminio
pH	Potencial Hidrogeno
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable
SD	Solidos sedimentables
SST	Solidos Sedimentables Totales
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO
- ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA
- ANEXO D:** PARTE EXPERIMENTAL
- ANEXO E:** PLANO REJILLAS
- ANEXO F:** PLANO HOMOGENEIZADOR
- ANEXO G:** PLANO TANQUE COAGULADOR-FLOCULADOR
- ANEXO H:** PLANO SEDIMENTADOR
- ANEXO I:** PLANO SISTEMA DE TRATAMIENTO
- ANEXO J:** DISEÑO DE LA PLANTA DE TRAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

RESUMEN

El rápido crecimiento poblacional ha intensificado el desafío del tratamiento de aguas residuales, generando una preocupación ambiental y una notable contaminación. El objetivo principal de este estudio fue diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para el Hospital General Ambato, ubicado en la provincia de Tungurahua. Para lograrlo, se llevaron a cabo varias etapas. En primer lugar, se realizó la medición del caudal utilizando el método volumétrico durante un periodo de 4 días consecutivos, desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm. Posteriormente, se recolectaron muestras siguiendo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Estas muestras se analizaron en el Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G, permitiendo identificar ciertos parámetros que excedían los límites especificados en la Tabla 8 del Anexo 1 del Libro VI de TULSMA. Estos parámetros incluyen DBO5, DQO, nitrógeno total Kjeldahl, pH, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. Para determinar la tratabilidad del efluente, se realizaron pruebas utilizando el método de test de jarra con PAC (Policloruro de Aluminio) al 2% y CHEMFLOC al 0,9%. Los resultados mostraron que se podría eliminar aproximadamente el 89% de los sólidos en suspensión, el 98% de los sólidos sedimentables, el 96% de la DQO, el 96% de la DBO5 y el 96% del nitrógeno total. Estos resultados respaldan la factibilidad técnica del proyecto. El diseño de la PTAR del Hospital General Ambato se realizó siguiendo cálculos de ingeniería y criterios de diseño. La planta incluye rejillas de limpieza manual, tanques de homogeneización, tanques de coagulación-floculación y un sedimentador convencional circular. El costo estimado de construcción de la planta es de aproximadamente 17045,36 dólares, que abarca tanto la infraestructura como la ingeniería civil necesarias para su construcción.

Palabras claves: <HOSPITAL GENERAL AMBATO>, <PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)>, <AGUA RESIDUAL>, <TEST DE JARRA>, <TULSMA>, <TUNGURAHUA (PROVINCIA)>.

1729-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The rapid population growth has intensified the challenge of wastewater treatment, generating environmental concern as well as significant pollution. The aim of this study was to design a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for Hospital General Ambato, located in Tungurahua province. To achieve the goals, several stages were carried out. First, the flow rate was measured using the volumetric method during 4 consecutive days, from 8:00 am to 4:00 pm. Subsequently, samples were collected based on the NTE INEN 2169:2013 Ecuadorian Technical Standard. These samples were analyzed at the E.P-EMAPA-G Quality Control Laboratory, this allowed identifying certain parameters which exceed the limits specified in Table 8, Annex 1, of TULSMA VI Book. These parameters include BOD5, COD, total Kjeldahl nitrogen, pH, total suspended solids and settleable solids. To determine the treatability of the effluent, tests were conducted using the jar test method with 2% PAC (Poly Aluminum Chloride) and 0.9% CHEMFLOC. The results determined that approximately 89% of suspended solids, 98% of settleable solids, 96% of COD, 96% of BOD5 and 96% of total nitrogen could be removed. These results support the technical feasibility of the project. The design of the WWTP for the Hospital General Ambato was based on engineering calculations and design criteria. The plant includes manual cleaning grids, homogenization tanks, coagulation-flocculation tanks, and a conventional circular settler. The estimated construction cost of the plant is approximately \$17045.36, which covers both, infrastructure and civil engineering which are required for its construction.

Keywords: <HOSPITAL GENERAL AMBATO>, <WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP)> <WASTEWATER>, <JAR TEST>, <TULSMA>, <TUNGURAHUA (PROVINCE)>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesántez, Mgs.

0603289877

INTRODUCCIÓN

Los objetivos comunes del tratamiento de aguas residuales ya sean domésticas o industriales, son eliminar los contaminantes, adecuarlos a la normativa ambiental interna, adecuarlos para otros usos, prevenir daños ambientales y mejorar la calidad de vida de las personas.

Aunque las aguas residuales hospitalarias son un vertido químico importante, no es el único. Además, debido a la ineficacia de los sistemas convencionales para eliminar los residuos farmacéuticos, se pueden encontrar residuos farmacéuticos en todos los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Puede ser difícil distinguir si estos productos son el resultado de hospitales que están conectados a la red de alcantarillado o de usuarios. Debido al rápido aumento de la población, el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en un problema importante, que afecta el medio ambiente y causa problemas de contaminación significativos.

Si las aguas residuales de los hospitales no se tratan adecuadamente, pueden afectar la salud humana porque los desechos de los hospitales pueden contener bacterias resistentes a los antibióticos y otras bacterias que causan enfermedades. El agua superficial puede facilitar la propagación de enfermedades, las bacterias que son resistentes a los antibióticos tienen el potencial de evolucionar, crecer y propagarse, lo que dificulta su tratamiento en el futuro.

Las aguas residuales a menudo se descargan en los sistemas de alcantarillado público o, en otros casos, directamente en cuerpos de agua dulce como ríos o arroyos. Debido a la falta de agua, su capacidad de dilución se reduce significativamente, lo que está relacionado con muchos factores ambientales y humanos. Es fundamental tomar medidas para garantizar que las aguas residuales de los hospitales se traten adecuadamente para evitar efectos adversos en el medio ambiente y la salud de la sociedad. Esto podría significar exigir que las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales actualicen sus sistemas existentes para tratar específicamente las aguas residuales de los hospitales, o exigir que cada hospital tenga su propia planta de tratamiento de aguas residuales, como se propone en este estudio.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Identificación del problema

Las aguas residuales hospitalarias son un subproducto de los servicios de salud que se ofrecen. Actualmente, el tema de la generación de aguas residuales hospitalarias es de interés mundial debido a la amenaza de numerosas enfermedades, así como a los riesgos sociales, económicos y ambientales por la falta de tratamientos adecuados previos a su vertido a un sistema de alcantarillado (Cevallos y Manoto, 2019, p. 19).

Hay numerosos elementos en las aguas residuales de los hospitales, incluidos productos químicos, agentes microbianos, productos farmacéuticos, desinfectantes, orgánicos, etc., que representan un riesgo significativo para la salud del público en general. Desde la construcción del Hospital General Ambato, no existe una planta para tratar las aguas residuales, actualmente, existe un flujo elevado de pacientes y personal sanitario, lo que origina una gran cantidad de desechos que se vierten al alcantarillado público sin antes ser tratados. Basándose en esto, se propone el diseño de una planta de purificación de aguas residuales en el Hospital General Ambato con el objetivo de que el tratamiento sea adecuado y no se liberen contaminantes que sobrepasen los límites permisibles de vertido, estipulados en el Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma del Libro VI, de la TULSMA. Tabla 8: Límites de vertido al alcantarillado público.

Formulación del problema

¿Los efluentes del Hospital General Ambato, vertidos al sistema de alcantarillado, no cumplen con los límites establecidos para los parámetros de aguas residuales según lo estipulado en el Acuerdo Ministerial 097-A?

Justificación

El procedimiento adecuado para tratar las aguas residuales de los hospitales es de suma importancia para el funcionamiento de los centros de salud, independientemente del volumen que generen, ya que se enfoca en proteger la salud y la seguridad de los pacientes, el personal de salud, el personal de limpieza y la comunidad circundante, a la vez que se reduce el impacto en el medio ambiente al aplicar el procedimiento correcto.

El Hospital General Ambato es una unidad médica con una infraestructura de 8 pisos y un sótano, actualmente en consultas externas, laboratorios clínicos, imagenología, estadística, farmacia, lavandería y costura, patología, nutrición y dietética, Urgencias y Rehabilitación Física, Unidades de Cuidados Intensivos, Centros de Maternidad, Centros de Cirugía, Centros de Esterilización, Ginecología, Neonatología, Pediatría, Gastroenterología, Oftalmología, Medicina Interna, Cirugía y Diálisis, Traumatología y Servicios Generales, etc. La unidad es el eje del sistema de atención primaria y generalmente está ubicada en la capital de la provincia de Tungurahua (Ministerio de Salud Pública, 2019, p.1).

El presente proyecto de diseño de la planta de tratamiento de aguas servidas para el Hospital General Ambato tiene como objetivo caracterizar los efluentes de las áreas operativas analizando cada parámetro especificado en la Tabla 8: Valores límite de descarga al alcantarillado público pertenecientes a la reforma del Libro VI, TULSMA del Acuerdo Ministerial 097-A, para luego determinar un tratamiento ideal para las aguas residuales generadas por el establecimiento de salud con el fin de reducir los niveles de contaminación y cumplir con los límites permisibles establecidos por la norma ambiental vigente.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el Hospital General Ambato.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad de las aguas residuales hospitalarias mediante la comparación de parámetros físico-químicos y microbiológicos con las especificaciones del Acuerdo Ministerial 097 A, Tabla 8: Valores límite de vertido al sistema público de aguas residuales.
- Dimensionar mediante cálculos de ingeniería el sistema óptimo para el tratamiento del agua residual hospitalaria.
- Cotizar el diseño de la PTAR para que posteriormente sea implementada en la institución de salud.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes de la investigación

Las instituciones de salud en general son lugares que consumen gran cantidad de recursos hídricos para su funcionamiento y ocasionan efectos adversos en el ambiente. En las últimas décadas, la Organización Mundial de la Salud se ha enfocado a investigar la contaminación de los hospitales y su relación con el cambio climático; aunque hasta ahora no se ha evidenciado un impacto significativo por parte del sector de la salud, se sospecha que es trascendental (OMS, 2022, p.1).

Debido al potencial de transmisión de enfermedades y riesgos ambientales resultantes del tratamiento inadecuado, los problemas de aguas residuales hospitalarias han llamado la atención a nivel nacional e internacional. Si bien en Ecuador existen leyes que regulan la disposición de desechos líquidos por alcantarillado, la mayoría de los hospitales no la cumplen, ya sea por desconocimiento o desinterés de las autoridades.

EPMAPS, la empresa que suministra agua potable en Quito reconoce que no tiene la capacidad suficiente para tratar los 3.400 litros de agua contaminada y servida que se originan cada segundo en la ciudad por parte de los 2.7 millones de habitantes de Quito. La ciudad capital únicamente recibe el 3,5% del agua contaminada. El resto de las aguas servidas no tratadas se vierten en el río Guayllabamba, que a su vez se une con el río Esmeraldas. Dado que actualmente solo están operativas siete plantas de tratamiento, EPMAPS estima que la ciudad requiere al menos 22 para dejar de contaminar sus ríos (Primicias, 2022, p.1).

Los tratamientos convencionales, como los biológicos, que se emplean en las plantas de tratamiento no son efectivos para eliminar contaminantes originados en los hospitales. Con el propósito de tratar las aguas residuales, es habitual someterlas a un proceso físico-químico previo que las lleve hasta la red de alcantarillado o a los receptores, la coagulación es la más habitual de estas operaciones, por lo que su efectividad depende de que el procedimiento previo sea exitoso (Cevallos y Manoto, 2019, p.372).

Debido a la preocupación actual que existe por la preservación del medio ambiente y tomando en cuenta lo antes mencionado con respecto las aguas residuales que generan el hospital, existen escasos trabajos y estudios dirigidos al diseño una planta de tratamiento de aguas residuales de los efluentes generados en este proceso.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua

Más del 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, que se puede encontrar en los océanos, lagos, ríos, la atmósfera y el suelo. Ella proporciona la energía y el sustento de la vida, modifica el clima y tiene un gran poder sobre la tierra. Es imprescindible para la vida por sus especiales características. Es una sustancia maleable que funciona como un solvente excepcional, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos, un material con una alta capacidad calorífica y la capacidad de hincharse cuando se congela. Simula el entorno y cambia el clima a través de sus movimientos. Los océanos cubren el 97,5% del agua de nuestro planeta. Del total del agua dulce, tan solo el 2,5% es líquida. Los lagos, la nieve y los témpanos de hielo representan cerca del 80% del agua dulce, el 19% proviene de las aguas subterráneas y el 1% de las aguas superficiales de fácil acceso. Esta pequeña cantidad de agua superficial que es fácilmente accesible se concentra mayormente en los lagos (un 52 %) y los pantanos (un 38 %) (Ceupe, 2018, p.148).

2.2.2. Características del agua

Tabla 2-1: Características del agua

Característica	Descripción
Densidad del Agua	La densidad del agua es 1 (exactamente 0,9999 a 20° C). La congelación del agua es bastante distinta a la de otros líquidos.
Viscosidad del Agua	Es la propiedad que tiene un líquido de oponer resistencia a todo movimiento, ya sea interno o global del flujo. Es un papel fundamental de las pérdidas de carga y por tanto juega un papel fundamental en el tratamiento del agua.
Calor Específico	Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1Kg de agua en 1°C.

Calor Latente	Cantidad de calor necesaria para efectuar el cambio de estado de la unidad de masa previamente llevada a la temperatura que corresponda a la tensión reinante.
Tensión Superficial	Es la fuerza de tracción que se ejerce sobre la superficie del líquido. El agua tiene una tensión superficial muy elevada debido a los puentes de hidrógeno
Conductividad	El agua es ligeramente conductora de electricidad, aumentando su conductividad si se añaden sales u otros materiales ionizantes. El agua pura no es incolora, tiene un tinte azul verdoso en grandes volúmenes. El color afecta estéticamente a la potabilidad de las aguas y afecta como colorante de ciertos productos cuando se utiliza en su fabricación.
Color	
	La falta de transparencia del agua se origina en su incapacidad para permitir el paso de la luz debido a la presencia de partículas en suspensión, tanto coloidales como de tamaño muy reducido. Estos componentes presentan dificultades considerables para asentarse y ser eliminados mediante filtración.
Turbidez	La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. Se utilizan unos aparatos llamados turbidímetros de los que existen varios tipos. El color, la turbidez y la conductividad se utilizan como parámetros de la calidad del agua.

Fuente: CEUPE, 2018.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

2.2.3. Deterioro de la calidad del agua

La mala calidad del agua es un problema cada vez más grave que está en aumento y se considera la principal amenaza ambiental (Salgot et al., 1999; citado en Fernández, 2019, p. 157). Las causas principales, tanto para el agua dulce como para el agua salada, son las prácticas agrícolas inadecuadas y los vertidos incontrolados de aguas residuales industriales y urbanas, que con frecuencia quedan sin tratamiento. También sufren la contaminación del aire, la acumulación de productos químicos en los suelos y sedimentos, el bombeo excesivo de aguas subterráneas, la minería y otras industrias extractivas, y la destrucción de los humedales. Los principales impactos ambientales de las aguas contaminadas son: contaminación microbiana del agua, enfermedades transmitidas por el agua, pérdida de ecosistemas acuáticos, riesgo de infección humana crónica asociada a la contaminación química, pérdida de reservas de proteínas debido a los procesos de salinización y de peces, pérdida de productividad de los regadíos. suelos; pérdida de suelo debido a la erosión (Fernández, 2019, p.157).

2.2.4. Aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por ser líquidos que, como consecuencia del uso humano, representan un riesgo y deben ser desechados por estar altamente concentrados en diversos materiales y/o microorganismos (Espigares y Pérez, 2019, p.2).

2.2.4.1. Tipos de aguas residuales

En este concepto, las aguas provienen de diferentes fuentes, como se observa a continuación:

Tabla 2-2: Aguas residuales

Aguas residuales domésticas o aguas negras	Proviene de las heces y la orina humana, la higiene personal, la cocina y la limpieza de la casa. Suelen contener grandes cantidades de materia orgánica y microorganismos, así como trazas de jabones, detergentes, lejías y grasas.
Aguas blancas	Pueden provenir de la atmósfera (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y espacios públicos. En lugares donde

la precipitación atmosférica sea muy rica, se puede evacuar por separado para evitar la saturación del sistema de depuración.

Aguas residuales industriales

Proceden de procesos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable y depende de las distintas actividades industriales.

Aguas residuales agrícolas

Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

Fuente: Espigares y Pérez, 2019.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

2.2.4.2. Características de las aguas residuales y sus procedencias

A continuación, se explica brevemente la composición de las aguas residuales, tanto en lo que respecta a sus componentes físicos, químicos y biológicos, y de dónde provienen (Espigares y Pérez, 2019, p.4).

Tabla 2-3: Características de las aguas residuales

Características	Procedencia
	Propiedades Físicas
<i>Color</i>	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
<i>Olor</i>	Agua residual en descomposición, residuos industriales Sólidos Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
<i>Temperatura</i>	Aguas residuales domésticas e industriales.
	Constituyentes Químicos

	<i>Carbohidratos</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	<i>Grasas animales, aceites</i>	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales y grasas.
	<i>Pesticidas</i>	Residuos agrícolas.
	<i>Fenoles</i>	Vertidos industriales.
<i>Orgánicos</i>	<i>Proteína</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	<i>Contaminantes prioritarios</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	<i>Agentes tensoactivos</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	<i>Compuestos orgánicos volátiles</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
	<i>Otros</i>	Degradación natural de materia orgánica.
	<i>Alcalinidad</i>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
	<i>Cloruros</i>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
	<i>Metales pesados</i>	Vertidos industriales.
	<i>Nitrógeno</i>	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
<i>Inorgánicos</i>	<i>PH</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	<i>Fósforo</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía
	<i>Contaminantes prioritarios</i>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
	<i>Azufre</i>	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
	<i>Sulfuro de hidrógeno</i>	Descomposición de residuos domésticos
<i>Gases</i>	<i>Metano</i>	Descomposición de residuos domésticos
	<i>Oxígeno</i>	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
	Constituyentes biológicos	
	<i>Animales</i>	Cursos de agua y plantas de tratamiento

	<i>Plantas</i>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
	<i>Eubacterias</i>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
<i>Protistas</i>		
	<i>Arqueobacterias</i>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
	<i>Virus</i>	Aguas residuales domésticas

Fuente: Espigares y Pérez, 2019.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

2.2.5. Aguas residuales hospitalarias

Tabla 2-4: Contenido de aguas residuales

	Antibióticos
	Analgésicos
	Hormonas
Farmacéuticos	Antisépticos
	estimulantes
	Tranquilizantes
	Bacterias y Virus
	Desinfectantes y esterilizadores
	Materia fecal y orina
	Isótopos radioactivos
	Productos de Cuidado Personal
	Metales pesados

Fuente: Watertech, 2019.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

Irónicamente, las aguas residuales de los hospitales pueden causar problemas de salud humana si no se gestionan adecuadamente. Las bacterias resistentes a los antibióticos y otros patógenos que infectan a los pacientes se encuentran entre las bacterias que se encuentran en los desechos hospitalarios. El agua superficial facilita la propagación de enfermedades, y las bacterias resistentes tienen el potencial de evolucionar, proliferar y evolucionar hacia formas que las harán más difíciles de tratar en el futuro. Los hospitales que vierten directamente a aguas superficiales son un peligro ambiental debido a que algunos científicos han comparado la droga presente en aguas superficiales con la función sexual alterada en los peces, lo que sugiere que la misma podría provocar alteraciones hormonales en los organismos acuáticos (Watertech, 2019, p.1).

Es crucial tomar acciones para garantizar que las aguas residuales hospitalarias sean tratadas adecuadamente para prevenir este tipo de efectos. Es posible que las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales deban actualizar sus sistemas actuales para tratar específicamente las aguas residuales de los hospitales. Esto puede implicar la separación de las aguas residuales hospitalarias de las aguas residuales domésticas utilizando alcantarillas separadas o algún otro método, lo que puede requerir instalaciones de tratamiento de aguas residuales separadas.

Además, los ajustes normativos podrían obligar a los hospitales a tratar sus propias aguas residuales a niveles aceptables a nivel local antes de enviarlas a través del alcantarillado a una planta de tratamiento de aguas residuales municipal para un tratamiento adicional o descarga en cuerpos de agua superficiales (Watertech, 2019, p.1).

2.2.5.1. Fuentes de las emisiones hospitalarias

Las emisiones típicamente identificadas en áreas hospitalarias provienen de las siguientes fuentes (Rodríguez et al., 2018, p. 94):

Tabla 2-5: Derivados provenientes hospitalarios

Emisiones	Emisiones de vehículos pertenecientes al área hospitalaria.
	Emisiones de grupos electrógenos.
Residuos	Residuos generales asimilables a urbanos.
	Residuos sanitarios asimilables a urbanos.
	Residuos sanitarios peligrosos.
	Residuos químicos y citostáticos
	.
	Residuos de papel y cartón.
	Residuos líquidos de diálisis
	Residuos líquidos de todo tipo de tratamiento hospitalario.
Derivados	Calderas y generadores de vapor para la producción de vapor y agua caliente sanitaria para uso y calefacción.
	Excreciones y secreciones de personas tratadas en general y/o con radioisótopos.

Medicación derivada del tratamiento hospitalario.

Fuente: Rodríguez et al.; 2018.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

2.2.5.2. Contaminación hídrica por aguas residuales hospitalarias en el Ecuador

La contaminación por aguas residuales hospitalarias de los ecosistemas acuáticos naturales ha sido durante mucho tiempo una preocupación ambiental y de salud pública importante. Según varios investigadores, las altas concentraciones de microorganismos y/o virus (*Enterobacter, Faecalis, etc.*) presentan un riesgo para la salud humana y suponen un reto para el tratamiento de estas aguas residuales. También pueden estar presentes disolventes y metales pesados. Estas aguas están compuestas por una mezcla compleja de sustancias que tienen efectos tóxicos, mutagénicos y genotóxicos a través de interacciones sinérgicas y antagónicas entre sus componentes y entre ellos y el medio ambiente (Ramos, 2018, p.56).

2.2.6. Tratamiento de aguas

Se dividen dos clases de tratamiento de agua: el agua para consumo humano, ya que el agua natural no puede ser consumida por el ser humano debido a que contiene sustancias que son perjudiciales para la salud, y el agua residual, cuyo objetivo es reducir la cantidad de contaminantes que se encuentran en el agua una vez que ha sido utilizada por los seres humanos para propósitos agrícolas, industriales o domésticos. Ambos procedimientos tienen la misma base, sin embargo, el tratamiento de las aguas residuales es más complejo debido a que la cantidad de contaminantes es mayor (Ceupe, 2018, p.1).

2.2.7. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

El tratamiento de aguas residuales genera desechos como los lodos, que deben tratarse para convertirse en biocombustibles. Para utilizarlos en la restauración de suelos, la poda de árboles y la forestación, o para cubrir los vertederos, es necesario que sean caracterizados (Alfárez, 2019, p.1).

• Problemática ambiental

La descarga de aguas residuales domésticas y productivas se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves, el aumento de las descargas en la mayoría de los grandes y

medianos centros urbanos inevitablemente incrementará la población debido a las condiciones socioeconómicas y de orden público del país (Alfárez, 2019, p.1).

La situación de desecho se vuelve más grave cuando el caudal de agua se utiliza de manera específica aguas abajo, cambia la calidad requerida para actividades específicas (domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias, etc.) y el suministro de vida acuática (Alfárez, 2019, p.1). El hecho de arrojar desechos a los cuerpos de agua no solo afecta a los animales acuáticos, sino que principalmente afecta a la población humana. La contaminación bacteriana en las aguas residuales de los municipios es más importante desde el punto de vista higiénico, ya que contiene una gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden causar diversas enfermedades (colera, amebiasis, disentería, gastroenteritis, fiebre tifoidea, hepatitis A, etc.) (Alfárez, 2019, p.1).

2.2.7.1. PTAR en el Ecuador

En 2021, 164 (74%) de los GADM contaban con una o más plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, frente a 50 (22%) que no la tenían y 7 (3%) municipios que no contaban con alcantarillado (INEC, 2021, pp. 1-31).

- **Número de plantas de tratamiento de aguas residuales**

En 164 municipios del país existen 577 instalaciones para el tratamiento de aguas residuales. Del total de plantas de tratamiento de aguas residuales, el 49,88 % se encuentran en la Sierra, el 30,64 % en la costa, el 19 % en la Amazonia y el 0,48 % restante en la región insular (INEC, 2021, p.25).

Tabla 2-6: Total de PTAR en Ecuador

Región	Número de plantas
Total	577
Región Sierra	288
Región Costa	177
Región Amazónica	109
Región Insular	3

Fuente: INEC, 2021.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

- **Disposición final del agua residual tratada**

El 43,5% de los GADs de las municipalidades vierten aguas tratadas a ríos, el 33,6% a quebradas y el 22,9% restante las vierte en otros sitios. En las regiones insulares, la totalidad de las aguas tratadas se vierten en otros sitios (mares y pantanos artificiales) (INEC, 2021, p.28).

- **Disposición final del agua residual no tratada**

De las ciudades con aguas residuales sin tratar, el 52,8% de los GAD urbanos vertieron aguas residuales sin tratar a los ríos, el 32,9% a quebradas y el 14,3% restante fueron vertidas en otros lugares. En las zonas insulares, el 100 % de las aguas residuales sin tratar se vierte en otro lugar (océano) (INEC, 2021, p.29).

2.2.8. Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales

Se sabe que las ciudades de gran tamaño, como los centros urbanos del planeta, originan una gran cantidad de aguas residuales. Este es el producto de múltiples actividades como la agricultura, la ganadería, la industria y otras actividades domésticas. Es por ello por lo que se requiere un procedimiento de purificación de aguas residuales que permita la desinfección, con el fin de garantizar la calidad del agua que se devuelve al ecosistema (IDRICA, 2020, p.5).

El procedimiento de purificar agua residual consta de varias etapas:

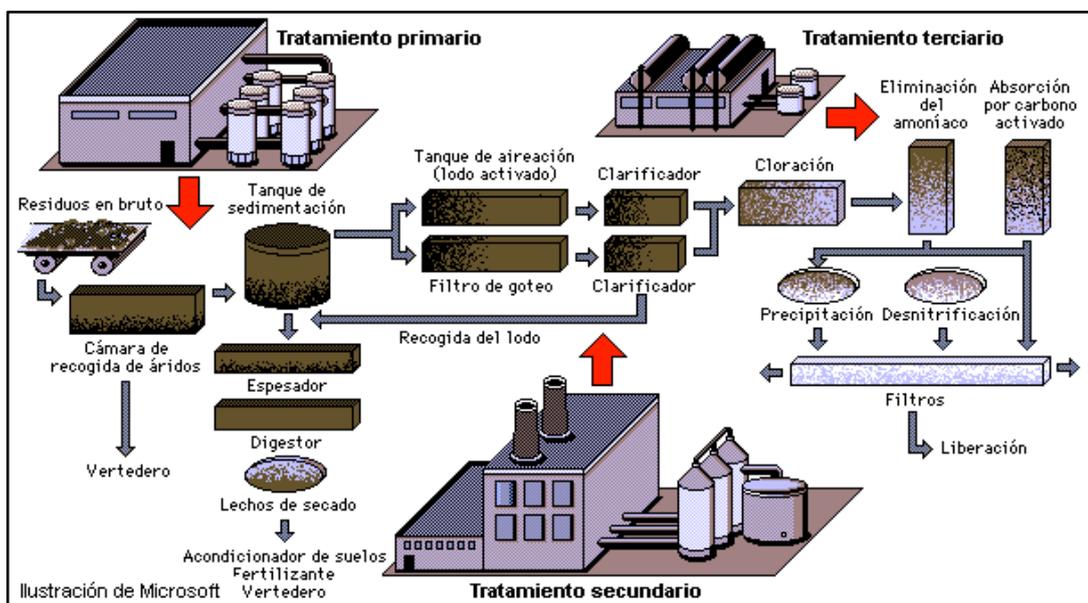


Ilustración 2-1: Etapas de la planta de tratamiento

Fuente: Idrica, 2020.

2.2.8.1. Pretratamiento

El pretratamiento es la etapa en la que se inicia el proceso de depuración de las aguas residuales y se utiliza para preparar el agua para las etapas subsecuentes. Por lo tanto, el agua está libre de objetos que puedan dañar la unidad o el equipo que se utilizará durante todo el proceso de purificación (Idrica, 2020, p.5).

En esta fase suele pasar primero un proceso basto, en el que se separan los residuos sólidos gruesos y medianos mediante varillas y tamices de diferentes espesores. A continuación, las partículas de grasa y arena se eliminan con desengrasantes (Idrica, 2020, p.5).

2.2.8.2. Tratamiento primario

La meta de esta fase es disolver parte de los sólidos suspendidos. Para esto, el agua se deja asentarse en decantadores durante 1 a 2 horas, la gravedad ayudará a separar estas partículas. Otras ventajas de este proceso son la homogeneización del flujo y la eliminación de orgánicos asociados a sólidos en suspensión (Chalar, 2019, p.15).

El proceso también puede incluir la adición de productos químicos como floculantes y coagulantes para mejorar la sedimentación de sólidos y eliminar el fósforo. Para equilibrar el pH del agua, ocasionalmente se utilizan sustancias alcalinas o ácidas (Idrica, 2020, p.5).

2.2.8.3. Tratamiento secundario

A través de un proceso de oxidación biológica, el objetivo principal de esta etapa es eliminar la materia orgánica coloidal y en solución. Adicionalmente, la destrucción de los componentes biológicos presentes en las aguas residuales a causa de los desechos humanos. En esta etapa están presentes procesos aeróbicos, anaeróbicos y físico-químicos como la floculación. Estos eliminan más lodos sólidos y la mayor parte de la DBO (Chalar, 2019, p.15).

2.2.8.4. Tratamiento terciario

El objetivo del tratamiento terciario o químico es elevar la calidad final del agua para que pueda ser utilizada para fines humanos o devuelta al medio ambiente (océanos, ríos, lagos y otras cuencas hidrológicas). Esto se logra a través de una serie de procedimientos, el principal de los cuales es la erradicación de patógenos como las bacterias fecales (Lander, 2020, p.10).

Las técnicas utilizadas incluyen: filtración a través de lechos de arena u otros materiales o desinfección con cloro (generalmente hipoclorito de sodio) o luz ultravioleta para reducir la cantidad de microorganismos producidos en etapas anteriores (Lander, 2020, p.2).

2.2.8.5. Métodos del proceso de tratamiento de aguas residuales

Existen diferentes métodos de tratamiento de aguas residuales (Lander, 2020, p.1).

Tabla 2-7: Características y métodos

Método		Característica	
<i>Físicos-Químicos</i>	Tratamiento primario	Reducción de contaminación:	
		Sedimentación (40%)	
		Flotación (75%)	
		Neutralización	
	Físicos	Separación física de sólidos grandes	
	Químicos	Precipitación	
		Coagulación	
<i>Biológicos</i>	Tratamiento secundario	Reacciones	Aeróbicos
		Bioquímicas	Anaeróbicos
			Lodos activos
		Métodos Aerobios y Anaerobios	Filtros verdes
			Lechos bacterianos
		Digestión anaeróbica	

Fuente: Áleman, 2019.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

2.2.9. Tratamientos de aguas residuales hospitalarias

Los desechos líquidos de un hospital son vertidos en la red pública (Ilustración 1-2), siempre de acuerdo con la legislación ecuatoriana. Para evitar mayores costos y la contaminación de las redes de drenaje, el tratamiento de agua se debe llevar a cabo más cerca del origen de la contaminación. Se conocen distintos procedimientos para tratar las aguas residuales de los hospitales, sin embargo, la manera en que se lleve a cabo dependerá del tipo de contaminante que haya, la calidad

que se quiera obtener del efluente y el presupuesto con el que se cuenta, además de la disponibilidad del terreno (Cevallos y Manoto, 2019, pp. 7-8).

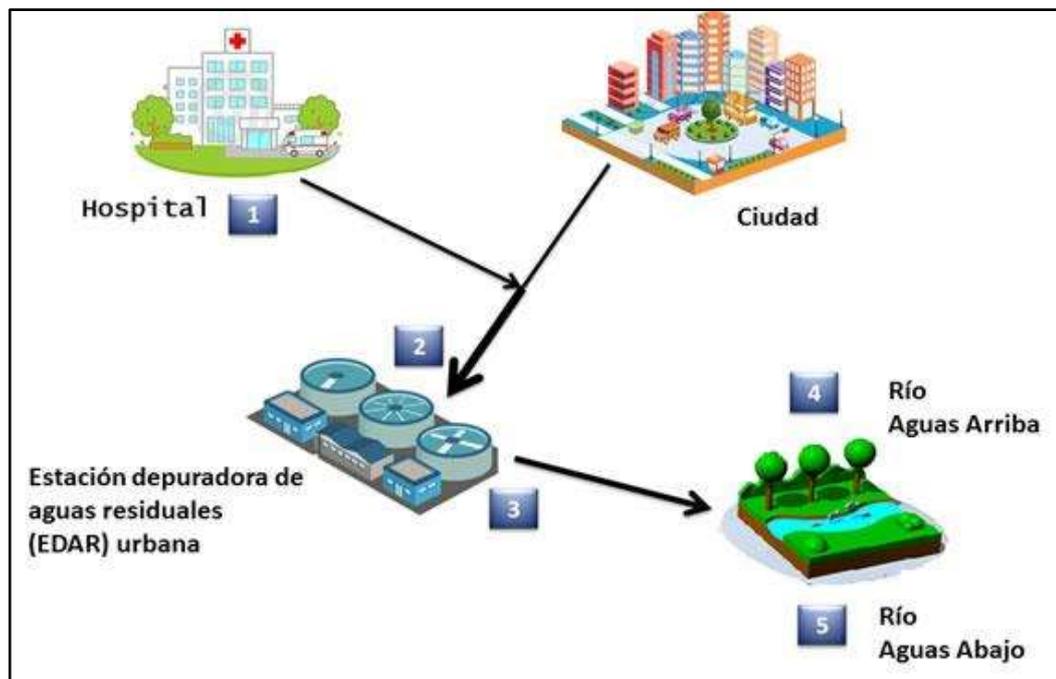


Ilustración 2-2: Funcionamiento del sistema

Fuente: SPENA, 2018.

2.2.10. Dimensionamiento de la PTAR

2.2.10.1. Rejillas

El cribado se utiliza para recolectar los sólidos suspendidos, ya sean de gran tamaño que comúnmente se encuentran presentes, ya que provienen de la corriente residual, además de recolectar las materias flotantes que sean mayores a 5 mm. Aumenta la productividad posterior al desove de cada unidad de una planta, se puede reducir o eliminar alrededor de un 5% a un 20% de sólidos en suspensión (Melo, 2018, pp. 21-23).

Son componentes esenciales del diseño de las PTAR, están formadas por barras, en su mayoría metálicas, con un espesor y separadas de acuerdo con la necesidad. Su forma ayuda a que se queden atrapados sólidos y materia que puede afectar la función de otros componentes de la planta, como bombas, tuberías, entre otros (METCALF y EDDY, 1995; citado en Reino, 2020, p. 44).

Clasificación

Pueden ser mecánicas (automáticas) o manuales, según la técnica de limpieza.

- a. **Rejillas de limpieza mecánica o automática:** Estas son recomendadas para las PTAR de gran tamaño, por lo general se utilizan para caudales o gastos continuos de más de 50 L/s.
- b. **Rejillas de limpieza manual:** Se emplean en pequeñas PTAR que son susceptibles a la limpieza a mano (RAS, 2000; citado en Reino, 2020, p. 44).

Criterios de diseño

Tabla 2-8: Dimensiones recomendadas para el ancho del canal

Caudal	Unidad	Base
Pequeño	m	0,5
Mediano	m	1
Grande	m	1,5
Factor de seguridad	m	0,15

Fuente: Metcalf y Eddy Incorporated, 1995; Norma RAS,2000; citado en Reino, 2020.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Tabla 2-9: Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Condiciones	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Anchura	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37.5	25-37.5
Espesor de barras	mm	>6	>8
Separación de barras	mm	25-50	15-75
Diámetro de barras	pulgadas	1/2	1/2
Pendiente en relación con la vertical	Grados	30-60	60-75
Velocidad de aproximación	m/s	0.30-0.60	0.6-0.9
Pérdida de carga admisible	mm	150	150

Fuente: Metcalf y Eddy Incorporated, 1995; Norma RAS, 2000; citado en Reino, 2020.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Dimensionamiento del sistema de rejillas

- **Área libre del paso de agua**

Se determina en relación entre el caudal de diseño y la velocidad mínima:

$$A_L = \frac{Q}{v}$$

Ecuación 2-1.

Dónde:

A_L : Área libre del paso de agua (m²)

Q : Caudal de diseño (m³/s)

v : Velocidad de flujo (m/s)

- **Altura del tirante en el canal**

Para determinarlo se emplea:

$$h_{a'} = \frac{A_L}{B}$$

Ecuación 2-2.

Dónde:

$h_{a'}$: Altura del tirante en el canal (m)

A_L : Área libre del paso de agua (m²)

B : Ancho del canal (m)

- **Altura del canal**

$$H = h_{a'} + H_s$$

Ecuación 2-3.

Dónde:

H : Altura del canal (m)

$h_{a'}$: Altura del tirante en el canal (m)

H_s : Altura de seguridad (m)

- **Longitud de las barras**

$$L_b = \frac{H}{\text{Sen } \theta}$$

Ecuación 2-4.

Dónde:

L_b : Longitud de barras (m)

H: Altura del canal (m)

θ : Ángulo de inclinación de las barras

- **Número de barras**

$$n = \frac{B}{e + S} - 1$$

Ecuación 2-5.

Dónde:

n: Número de barras

B: Ancho del canal (m)

e: Espesor de barras (m)

S: Diámetro de barra (m)

- **Pérdida de carga**

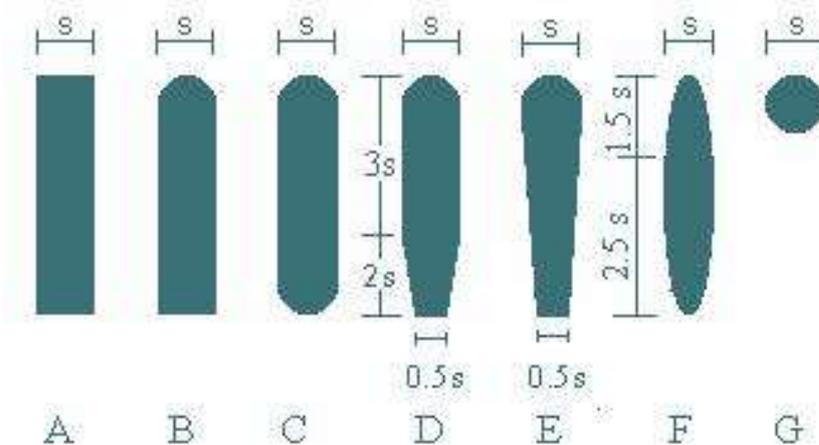


Ilustración 2-3: Forma de rejillas

Fuente: Norma RAS,2000; citado en Melo, 2018.

Tabla 2-10: Coeficiente de pérdida para rejillas de acuerdo con su forma

Forma de rejilla	A	B	C	D	E	F	G
β	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: Norma RAS, 2000; citado en Melo, 2018.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

$$H_f = \beta \left(\frac{S}{e}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g}\right) \text{sen } \theta$$

Ecuación 2-6.

Donde:

β : Factor dependiente de la forma de barras (adimensional)

S: Separación entre barras (m)

e: Espesor de barras (m)

V: Velocidad del flujo (m/s)

g: Aceleración gravitatoria (m/s^2)

θ : Ángulo de inclinación de las barras

2.2.10.2. Homogenización

Para el dimensionamiento del equipo se debe tener en cuenta su función de homogeneizar las aguas residuales de la planta de aguas residuales a lo largo de la jornada laboral, por lo que tendrá una geometría circular. Considerando que las corrientes secundarias contaminadas tienen diferentes cargas orgánicas en cada descarga, así como caudales variables, se busca por tanto tener un caudal homogéneo para la tratabilidad de unidades sucesivas (Reino, 2020, pp. 50-55).

La dilución de sustancias inhibitoras, la mejora de la tratabilidad de las aguas residuales, el aumento de la eficiencia y, en consecuencia, de la calidad del efluente, la estabilización del pH, la facilidad de dosificación de reactivos químicos y la mejora de la fiabilidad y eficacia del proceso son algunas de las ventajas de la homogeneización (Zenit, 2022, pp. 1-3).

Criterios de diseño

Dimensionamiento del tanque homogeneizador

- **Área del homogeneizador**

$$A_h = \frac{Q}{C_s}$$

Ecuación 2-7.

Donde:

A_h : Área del homogeneizador (m^2)

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

C_s : Carga superficial (m^3/m^2d)

- **Diámetro del homogeneizador**

$$D_h = \sqrt{\frac{4 * A_h}{\pi}}$$

Ecuación 2-8.

Donde:

D_h: Diámetro del homogeneizador (m)

A_h: Área del homogeneizador (m²)

- **Radio del homogeneizador**

$$r_h = \sqrt{\frac{A_h}{\pi}}$$

Ecuación 2-9.

Donde:

A_h: Área del homogeneizador (m²)

r_h: Radio del homogeneizador (m²)

- **Volumen del homogeneizador**

$$V_h = A_h * h_h$$

Ecuación 2-10.

Donde:

V_h: Volumen del homogeneizador (m³)

A_h: Área del homogeneizador (m²)

h_h: Altura del tanque (m)

- **Mezclador para el homogeneizador**

Cuando se trata de mezclar líquidos en instalaciones de depuración y tratamiento de aguas, los mezcladores sumergidos son la opción más práctica y eficaz. Cuando se coloca correctamente en los tanques, este dispositivo transfiere una fuerza al líquido sumergido, la cual varía en función del tamaño, forma y rotación de la hélice. Además, mantiene el movimiento de la masa de agua para lograr una mezcla uniforme y prevenir la acumulación de sedimentos. Dependiendo del tipo de proceso, se pueden emplear en una sola instalación, en varias o incluso en combinación con sistemas de aireación de fondo. Debido a su total compatibilidad y la disponibilidad de una amplia

gama de accesorios, es factible instalar estos dispositivos en cualquier ubicación del depósito para lograr una mezcla óptima. Asimismo, también se pueden emplear como reemplazo de equipos antiguos en instalaciones ya existentes (Zenit, 2022, pp. 1-3).

Cálculo para mezclador

- **Diámetro del impulsor**

$$d_i = \frac{D_h}{10}$$

Ecuación 2-11.

Donde:

d_i: Diámetro del impulsor (m)

D_h: Diámetro del homogeneizador (m)

- **Altura del impulsor respecto al fondo del tanque**

$$H_i = d_i$$

Ecuación 2-12.

Donde:

H_i: Altura del impulsor (m)

d_i: Diámetro del impulsor (m)

- **Ancho de las palas del impulsor**

$$q = \frac{d_i}{5}$$

Ecuación 2-13.

Donde:

q: Ancho de los deflectores (m)

d_i: Diámetro del impulsor (m)

- **Longitud de las palas del impulsor**

$$l = \frac{d_i}{4}$$

Ecuación 2-14.

Donde:

l: Longitud de las paletas del impulsor (m)

d_i: Diámetro del impulsor (m)

- **Longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central**

$$l_{DC} = \frac{l}{2}$$

Ecuación 2-15.

Donde:

l_{DC}: • Longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central (m)

l: Longitud de las paletas del impulsor (m)

- **Ancho de los deflectores**

$$W_d = \frac{d_i}{10}$$

Ecuación 2-16.

Donde:

W_d: Ancho de los deflectores (m)

d_i: Diámetro del impulsor (m)

- **Diámetro del disco central**

$$s = \frac{d_i}{4}$$

Ecuación 2-17.

Donde:

s: Diámetro del disco central (m)

d_i: Diámetro del impulsor (m)

- **Potencia disipada en la mezcla**

Tabla 2-11: Gradiente de velocidad G y tiempo de detención típico para operaciones de mezclado y floculación

Intervalos de valores		
Proceso	Tiempo de detención	Valores de G (s⁻¹)
Mezclado	Operaciones de mezcla rápida típicas	5-20 s
	Mezcla rápida en procesos de filtración de contacto	< 1-5 s
	Procesos de floculación típicamente empleados en el tratamiento del agua residual	10-30 min
Floculación	Floculación en procesos de filtración directa	2-10 min
	Floculación en procesos de filtración de contacto	2-5 min

Fuente: Metcalf y Eddy Incorporated, 1995; Norma RAS, 2000; citado en Guamán, 2021.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

$$P = G^2 * \mu * V_{cf}$$

Ecuación 2-18.

Donde:

P: Potencia del motor eléctrico de las paletas (W)

G²: Gradiente de Velocidad, dato asumido de la tabla 12-2

μ: Viscosidad dinámica del agua residual (Nm/s²)

V_{cf}: Volumen del coagulador floculador (m³)

2.2.10.3. Tanque mezclador para coagulación-floculación

La coagulación se produce al desestabilizar a los coloides al neutralizar sus cargas, lo que genera la formación de flóculos. Los componentes fundamentales de este proceso incluyen la neutralización de cargas coloidales y la eliminación de sedimentos o flóculos mediante el barrido. Factores como el pH, la velocidad de agitación de la solución, la cantidad y el tipo de coagulante, desempeñan un papel crucial para alcanzar un resultado óptimo (MEFCALF & EDDY, 1995, citado en Vasco, 2022, p. 23).

La floculación es el procedimiento de unir los flóculos que se forman con el fin de incrementar su tamaño y peso, para llevarlo hacia la superficie. La sedimentación de los flóculos es agilizada al aumentar el tamaño y la densidad de las partículas que se coagulan, lo que a su vez incrementa la velocidad de sedimentación (Quinatoa, 2020, p.15).

Criterios de diseño

Tabla 2-12: Características técnicas del tanque floculador

Tiempo de retención (min)	1-60
Gradiente de velocidad	500-1000
Relación geométrica (a)	3
Relación geométrica (b)	3,5

Fuente: Sardá, R., et al., 2021.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Dimensionamiento del tanque de coagulación-floculación

- **Volumen del tanque**

$$V_{CF} = Q * trh$$

Ecuación 2-19.

Donde:

V_{CF}: Volumen del coagulador floculador (m³)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

trh: Tiempo de retención hidráulica (s)

- **Diámetro del tanque**

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{CF} * a}{\pi * b}}$$

Ecuación 2-20.

Donde:

DT: Diámetro de la cámara de mezcla (m)

V_{CF}: Volumen del coagulador floculador (m³)

a y b: Relación Tabla 12-2

- **Profundidad de la cámara de mezcla del Coagulador Floculador**

$$H = b * \frac{DT}{a}$$

Ecuación 2-21.

Donde:

H: Profundidad de la cámara de mezcla (m)

DT: Diámetro de la cámara de mezcla (m)

a: Relación Tabla 12-2

- **Diámetro de la turbina del Coagulador Floculador**

$$D = \frac{DT}{a}$$

Ecuación 2-22.

Donde:

D: Diámetro de la turbina (m)

DT: Diámetro de la cámara de mezcla (m)

a: Relación Tabla 12-2

- **Ancho de los deflectores**

$$W_d = \frac{D}{10}$$

Ecuación 2-23.

Donde:

W_d: Ancho de los deflectores (m)

D: Diámetro de la turbina (m)

• **Dimensión de las paletas**

- *Longitud*

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

Ecuación 2-24.

Donde:

B: Longitud de las paletas (m)

D: Diámetro de la turbina (m)

- *Alto*

$$W = \frac{D}{4}$$

Ecuación 2-25.

Donde:

W: Alto de las paletas (m)

D: Diámetro de la turbina (m)

- *Ancho*

$$q = \frac{D}{5}$$

Ecuación 2-26.

Donde:

q: Ancho de las paletas (m)

D: Diámetro de la turbina (m)

- *Diámetro del disco central*

$$s = \frac{DT}{4}$$

Ecuación 2-27.

Donde:

s: Diámetro del disco central (m)

DT: Diámetro de la cámara de mezcla (m)

- *Altura del impulsor respecto al fondo*

$$h = \frac{D}{1}$$

Ecuación 2-28.

Donde:

h: Altura del impulsor (m)

DT: Diámetro de la turbina (m)

- *Potencia aplicada*

$$P = G^2 * \mu * V_{cf}$$

Ecuación 2-29.

Donde:

P: Potencia del motor eléctrico de las paletas (W)

G²: Gradiente de Velocidad, dato asumido de la tabla 12-2

μ: Viscosidad dinámica del agua residual (Nm/s²)

V_{CF}: Volumen del coagulador floculador (m³)

- *Velocidad de rotación*

Es el número de revoluciones por minuto que se producirán en el tanque para mezclar el líquido.

Tabla 2-13: Valores de K para las necesidades de energía de mezclado

Impulsor	Régimen laminar
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41
Hélice, paso de dos, 3 palas	43,5
Turbina, 6 palas planas	71
Turbina, 6 palas curvas	70
Turbina ventilador, 6 palas	70

Turbina, 6 palas en punta de flecha	71
Paleta plana, 6 palas	36,5
Turbina cerrada, 2 palas curvas	97,5
Turbina cerrada con estator (con deflectores)	172,5

Fuente: MEFCALF & EDDY, 1995.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * D^5}}$$

Ecuación 2-30.

Donde:

N: Velocidad de rotación

P: Potencia del motor eléctrico de las paletas (W)

ρ: Densidad del fluido (Kg/m³), Apéndice C (MEFCALF & EDDY, 1995)

K: Constante del mezclado

D: Diámetro de la turbina (m)

- **Cálculo de la dosificación de coagulante**

$$D_{\text{óptima}} = \frac{V_{\text{TCF}} * D_c}{V_{\text{jarra}}}$$

Ecuación 2-31.

Donde:

V_{TCF}: Volumen del tanque coagulador floculador (L)

D_c: Dosis óptima obtenida en el test de jarras (ml)

V_{jarra}: Volumen de referencia en el test de jarra (L)

- **Cálculo de la cantidad de coagulante**

$$C_c = Con_c * D_{\text{óptima}}$$

Ecuación 2-32.

Donde:

C_c: Cantidad de coagulante (g/día)

Con_c: Concentración de solución en test de jarras (g/L)

D_{óptima}: Dosificación

2.2.10.4. Sedimentación

Este proceso implica la separación de partículas suspendidas en una fase líquida mediante la decantación, aprovechando su mayor densidad en comparación con el líquido circundante, es decir, mediante la acción de la gravedad. La sedimentación es una de las maneras más comunes de tratar agua residual y agua dulce. En el tratamiento de aguas residuales, la sedimentación es la principal herramienta para eliminar arena, materia sólida de gran tamaño, sedimentos y flóculos que se forman durante los procesos de floculación (Córdova, 2018, pp. 81-82).

Criterios de diseño

Sedimentador circular

Los sedimentadores pueden ser rectangulares o circulares. Los tanques de sedimentación circulares son los más comunes en las plantas de tratamiento, ya que su geometría hace que la sedimentación sea efectiva, además, los lodos son removidos de manera adecuada, el sistema de flujo es radial y el agua ingresa desde el centro o desde la periferia del tanque (Chimbolema, 2018, pp. 34-40). En la tabla 2-14 se describe las características geométricas y recomendadas el sedimentador circular.

Tabla 2-14: Criterios de diseño para sedimentador circular

Parámetro	Rango
Pendiente	5-10%
Diámetro (m)	3-60
Tiempo de retención (h)	1,5-3
Carga superficial (Cs) (m ³ /m ² d)	30-50
Profundidad (m)	3-4,5
Velocidad de los rascadores (r/min)	0,02 -0,05

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995; citado en Chimbolema, 2018.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Dimensionamiento del sedimentador circular

- **Carga superficial**

$$Cs = \frac{Q}{As}$$

Ecuación 2-33.

Donde:

Cs: Carga superficial (m^3/m^2d)

Q: Caudal de diseño ($\frac{m^3}{s}$)

As: Área de sedimentador (m^2)

- **Diámetro del sedimentador**

$$D = \sqrt{\frac{4 * AS (m^2)}{\pi}}$$

Ecuación 2-34.

Donde:

D: Diámetro (m)

As: Área de sedimentador (m^2)

- **Radio del sedimentador**

$$r = \frac{D}{2}$$

Ecuación 2-35.

Donde:

R: Radio (m)

D: Diámetro (m)

- **Volumen del sedimentador**

Se asume una altura de 3 m de acuerdo con los criterios de diseño.

$$V = As * H$$

Ecuación 2-36.

Donde:

V: Volumen del sedimentador (m^3)

As: Área de sedimentador (m^2)

H: Altura (m) (tabla 14-2)

- **Altura de la zona de lodos**

$$hl = s * H$$

Ecuación 2-37.

Donde:

hl: Altura de la zona de lodos (m)

s: Pendiente

(Rojas, 1999, citado en Chimbolema, 2018).

- **Reparto central**

Si se considera que el 25% del diámetro corresponde a la distribución central, se puede afirmar que:

$$R_{central} = D * 0,25$$

Ecuación 2-38.

Donde:

R_{central}: Reparto central (m)

D: Diámetro (m)

- **Altura de reparto**

$$H_{reparto} = \frac{1}{4} * H(m)$$

Ecuación 2-39.

Donde:

H_{reparto}: Altura de reparto (m)

- **Cálculo de carga sobre el vertedero de salida**

La ecuación utilizada para calcular la carga en el vertedero de salida es la siguiente:

$$C_{vertedero} = \frac{Q}{\pi * D}$$

Donde:

C_{vertedero}: Carga de vertedero ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)

Q: Caudal de diseño ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

D: Diámetro (m)

- **Cálculo de tiempo de retención hidráulica**

$$\text{Trh} = \frac{V}{Q}$$

Donde:

Trh: Tiempo de retención hidráulica

V: Volumen (m^3)

Q: Caudal de diseño ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

(Rojas, 1999; citado en Chimbolema, 2018, pp. 34-40).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Es de tipo aplicada, ya que el presente estudio tuvo como finalidad diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales y así disminuir la contaminación que provocan las aguas residuales del Hospital General Ambato, aplicando conocimientos de ingeniería hidráulica y ambiental.

En cuanto al nivel de profundidad, la investigación se centró en un enfoque descriptivo, ya que se limitó al dimensionamiento del sistema de aguas residuales a partir de la descripción de las propiedades, características y procesos necesarios para tratar las aguas residuales. Se han omitido los aspectos geotécnicos relacionados con el terreno sobre el que se construirá la futura planta de tratamiento por pertenecer a otras disciplinas de la ingeniería.

Este proyecto se enfocó en un proceso cuantitativo, ya que se recolectaron y analizaron datos de la calidad del agua residual considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, estos datos fueron comparados con los límites establecidos en la normatividad ecuatoriana vigente con el fin de establecer el correcto tratamiento de estas aguas residuales. Finalmente, el período de estudio fue transversal, ya que las muestras y los datos necesarios se obtuvieron en un período definido.

3.2. Diseño de la investigación

Es de tipo no experimental ya que no se manipularon las variables a lo largo del estudio por ser una aplicación puramente técnica en campo; donde el objetivo principal fue presentar, en base a criterios técnicos una propuesta sólida y potencialmente factible para implementar el proyecto, con el objetivo de eliminar la contaminación y su impacto negativo en el medio ambiente.

3.3. Localización del proyecto

El Hospital General Ambato está ubicado en Av. Rodrigo Pachano y Edmundo Martínez en la parroquia de Atocha-Ficoa, cantón de Ambato, provincia de Tungurahua.

Tabla 3-1: Ubicación geográfica del Hospital General Ambato

Georreferenciación

x	9863539
y	763605

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.



Ilustración 3-1: Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Google Earth, 2022.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4. Técnicas de recolección de datos

3.4.1. Medición de caudal

3.4.1.1. Método

Se utilizó el método volumétrico, según Alvarado (2018, p.4) este método es el más preciso y consiste en enviar el caudal a un tanque impermeable de volumen conocido y calcular el tiempo total de llenado del tanque.

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

Donde:

Q: caudal (L/s)

V: Volumen del agua (L)

t: tiempo (s)

3.4.1.2. Lugar de muestreo

El muestreo se realizó en el punto de descarga de las aguas residuales a la red de alcantarillado, que se encuentra al noreste del hospital.

Tabla 3-2: Ubicación del punto de descarga de las aguas residuales

Georreferenciación

x	9863481
y	763578

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4.1.3. Equipos y materiales

Tabla 3-3: Equipo y materiales

Equipo de protección personal	Materiales
Guantes	Cámara fotográfica
Mandil	Balde plástico
Mascarilla	Cronómetro
Botas de caucho	Flexómetro
Casco	GPS

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4.1.4. Periodo de medición

Para asegurar una medición precisa del caudal promedio de las aguas residuales hospitalarias, se tomaron mediciones cada hora durante cuatro días consecutivos, desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm. Esta metodología de muestreo permitió obtener una estimación fiable y representativa del caudal promedio. Conocer el caudal promedio es esencial para el diseño, operación y mantenimiento adecuado de cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 3-4: Formato del período de medición

	Tiempo (s)			
Hora	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
08:00				
09:00				
10:00				
11:00				
12:00				

13:00				
14:00				
15:00				
16:00				

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4.1.5. Procedimiento

1. Primeramente, la detección y georreferenciación del sitio se realizó mediante la observación directa del área de descarga de aguas residuales del hospital.
2. Se hizo la medición del recipiente para determinar el volumen del recipiente.
3. El recipiente se colocó en la zona de desagüe para llenar el agua residual y se registró el tiempo de llenado del recipiente.
4. El mismo procedimiento se realizó cada hora desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm.

3.4.2. Muestreo del agua residual

Dado que el procedimiento de muestreo está alineado con los objetivos del proyecto, se utilizó un procedimiento de muestreo no probabilístico. Las muestras fueron recolectadas en base a las recomendaciones generales de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013:

- Antes de la toma de muestras, enjuagar el recipiente.
- Mediante la cadena de custodia se etiqueta la muestra.
- La conservación de las muestras en refrigeración en un ambiente oscuro y tenue.
- Transporte y entrega dentro de las dos horas posteriores a la recolección de la muestra (INEN 2169, 2013, pp.3-6).

Tabla 3-5: Período de medición

Lugar de muestreo	Volumen de muestra (L)	Número de muestras	Días de muestreo	Total, de muestras tomadas
Descarga de las aguas residuales a la red de alcantarillado	3,79	1	M ₁ : 7/11/2022 M ₂ : 14/11/2022 M ₃ : 21/11/2022 M ₄ : 28/11/2022	4

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4.3. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual

Las pruebas de caracterización se llevaron a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G. En la tabla 6-3 se detallan los parámetros y métodos analizados.

Tabla 3-6: Parámetros de análisis

Parámetros	Expresado como	Unidad	Método
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	5520-B
Aluminio	Al	mg/L	HACH 10215
Arsénico total	As	mg/L	HACH 2800000
Bario	Ba	mg/L	HACH 8014
Bicarbonatos	HCO ₃	mg/L	HACH 8203
Boro	B	mg/L	HACH 10252
Cadmio	Cd	mg/L	3500-Cd
Carbonatos	CO ₃	mg/L	HACH 8203
Cianuro	CN ⁻	mg/L	4500-CN-E
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	4500CI-C
Cobalto	Co	mg/L	3500-Co
Cobre	Cu	mg/L	3500-Cu
Coliformes fecales	NMP	NMP/100	9221-F
Coliformes totales	NMP	NMP/100	9221-F
Color	-	PtCo	2120-C
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	3500-Cr
DBO5	-	mg/L	5210-D
DQO	-	mg/L	5220-D
Estaño	Sn	mg/L	3500-Sn
Fluoruros	F	mg/L	4500-FD
Fósforo total	P-PO ₄	mg/L	4500-PE
Hierro total	Fe	mg/L	HACH 8008
Manganeso total	Mn	mg/L	3500-Mn
Níquel	Ni	mg/L	3500-Ni
Nitrógeno Amoniacal	NH ₃ -N	mg/L	HACH 8075
Nitrógeno Total Kjeldahl	-	mg/L	4500-N org C
Oxígeno Disuelto	OD	-	Winkler
Plata	Ag	mg/L	3500-Ag

Plomo	Pb	mg/L	3500-Pb
Potencial de Hidrógeno	pH	-	4500-H-B
Sólidos sedimentables	SD	mg/L	2540-F
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	2540-D
Sólidos totales	ST	mg/L	2540-H ⁺ B
Sulfatos	SO ₄	mg/L	400-SO ₄ ²⁻ E
Temperatura	-	°C	2550-B
Tensoactivos	-	mg/L	5540-C
Zinc	Zn	mg/L	3500-Zn

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4.3.1. Cumplimiento de la normativa ambiental vigente

Los parámetros que no cumplen con los límites permisibles se identificaron con base en el promedio de los resultados de los análisis de agua de 4 muestras y se compararon con los límites especificados en la Tabla 8 del Anexo 1 del Libro VI de TULSMA.

3.4.4. Bases de diseño

Se utilizó el estándar CO 10.7 - 602 para establecer las condiciones de diseño utilizando datos preliminares sobre población futura, dotación y flujos de diseño (promedio, máximo diario y máximo por hora).

3.4.4.1. Período de diseño

Se consideró un período de diseño de 20 años con base en la norma CO 10.7-602, que es el período de tiempo sugerido en la normativa para este tipo de proyectos de diseño.

3.4.4.2. Proyección poblacional

Según el Informe de Rendición de Cuentas 2021 del Hospital General Ambato, el hospital atiende pacientes de las siguientes ciudades: Ambato, Baños, Cevallos, Mocha, Patate, Quero, Pelileo, Píllaro, Tisaleo; con base en los datos proporcionados en el informe, este estudio consideró a las 262.827 personas atendidas como la población actual, dentro de este grupo de pacientes está considerado los pacientes atendidos en el 2021 en el área de consulta externa, emergencia y

hospitalización. Para la estimación de la población futura se basó en el método geométrico, que según Valdez (2018, p. 82) es uno de los más utilizados y efectivos.

Método geométrico

$$P_t = P_o (1 + r)^t$$

Ecuación 3-1.

Donde:

P_t = Población futura

P_o = Población inicial o actual

r = Tasa de crecimiento poblacional

t = Tiempo comprendido entre P_t y P_o

De acuerdo con la Proyección Poblacional Ecuatoriana elaborada por el INEC y debido a que el hospital atiende pacientes de la mayoría de la provincia de Tungurahua se tomó el 1,01% como tasa de crecimiento.

• Proyección poblacional del área de hospitalización

El hospital cuenta con un total de 217 camas de acuerdo con el Plan Anual 2021 del Hospital General – Ambato. El cálculo de la tasa se realizó tomando en cuenta el número de camas (213) disponibles en el año 2020.

3.4.4.3. Dotación neta

La dotación neta se basó en función del uso institucional, siendo para hospitales un consumo 800 (L/cama. día) (NORMAS NEC2011- CAP 16).

3.4.5. Caudal de diseño

3.4.5.1. Caudal medio diario

El título B 2.5.2 del RAS 2010 establece que el flujo promedio diario, o Q_m, se calcula para la población proyectada. Este cálculo de Q_m tiene en cuenta la siguiente ecuación.

$$Q_m = C \left(\frac{PD}{86400} \right)$$

Ecuación 3-2.

Donde:

C= Coeficiente de retorno estipulado por la RAS (0,80)

P = Población del área de hospitalización (cama)

D = Dotación (L/cama. día)

3.4.5.2. Caudal de infiltración

$$Q_{INF} = K_i * A_p$$

Ecuación 3-3.

Donde:

A_p= Área del proyecto (Ha)

K_i= Constante para el caudal de infiltración (L/s. Ha)

Tabla 3-7: Constante para el caudal de infiltración (L/s. Ha)

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta	Infiltración media	Infiltración baja
Bajo y medio	0,15-0,4	0,1-0,3	0,05-0,2
Medio alto y alto	0,15-0,4	0,1-0,3	0,05-0,2

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

3.4.5.3. Caudal de conexiones erradas

Q_{CE} = Caudal de conexiones erradas, el cual puede ser del 10 al 20% de Q_m.

Ecuación 3-4.

3.4.5.4. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario representa la cantidad promedio de agua que consume la sociedad en el día con mayor consumo (CO 10.7-602).

$$Q_{MD} = F * Q_m$$

Ecuación 3-5.

Donde:

QMD= Caudal máximo diario (L/s)

F= Factor de mayoración máximo diario

Factor de mayorización

De acuerdo con el estándar RAS 2010, hay varios métodos disponibles, el método elegido en este estudio es a través de la fórmula de Gaines debido a que es válida para el rango de 0,28 a 4250 L/s.

$$F = \frac{3,114}{Qm^{0,062}}$$

Ecuación 3-6.

Donde:

F= Factor de mayoración máximo horario

Qm= caudal medio diario de aguas residuales (L/s)

3.4.5.5. Caudal de diseño total

$$Q_{Diseño} = Q_{MD} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

Ecuación 3-7.

3.4.6. Tratabilidad del agua residual

3.4.6.1. Índice de biodegradabilidad

Como punto de partida para el dimensionamiento de la planta de tratamiento, se identificó el índice de biodegradabilidad (I_{BIOD}), que predice el tipo de efluente y, en base al valor de la relación DBO_5 y DQO, indica el tipo de tratamiento físico-químico o biológico.

$$I_{BIOD} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Ecuación 3-8.

Tabla 3-8: Relación entre parámetros DBO_5 y DQO

$\frac{DBO_5}{DQO}$	Tipo de biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
---------------------	---------------------------	---------------------

<0,3	Baja	La materia orgánica tiene baja capacidad degradativa, lo que resulta evidente que un enfoque de tratamiento físico-químico será necesario y factible.
0,3 – 0,6	Normal	Existe la posibilidad de aplicar un proceso biológico, químico o mixto.
>0,6	Alta	Materia orgánica muy degradable y requiere de un tratamiento biológico.

Fuente: Andrade et al., 2021.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

3.4.6.2. Prueba de Jarras

Para tratar el agua residual de hospital, se llevó a cabo la prueba de jarras en el Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G. En primer lugar, se midió la turbiedad inicial del agua residual. Luego, se utilizó una combinación de coagulante y floculante para eliminar los contaminantes presentes en el agua. Para este propósito, se empleó PAC (Policloruro de Aluminio) al 2% y CHEMFLOC al 0,9%. Se determinaron las dosis de estos productos químicos de acuerdo con las características del agua residual y las condiciones del proceso de tratamiento. Una vez preparada la solución coagulante-floculante, se agregó a las jarras de ensayo en cantidades crecientes. A continuación, se agitaron las jarras durante un tiempo determinado para permitir que los coágulos y floculados se formen y sedimenten. Finalmente, se midió la turbiedad del agua en cada jarra para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante que logra el mejor resultado de clarificación del agua.

3.4.7. Eficiencia de remoción

Una vez obtenidos los resultados de tratabilidad, se procedió a determinar la eficiencia de remoción del tratamiento. Este paso es fundamental para evaluar el desempeño del sistema y determinar el grado de reducción de los contaminantes presentes en el agua residual. La eficiencia de remoción se calcula comparando la concentración inicial de los contaminantes con la concentración final después del tratamiento. Esta información permite evaluar la efectividad del proceso de tratamiento y su capacidad para eliminar los contaminantes objetivo.

$$E_R = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

Ecuación 3-9.

Donde:

Er: Eficiencia de remoción del sistema

S: Concentración del contaminante de salida (mg/L)

S₀: Concentración del contaminante de entrada (mg/L)

3.4.7.1. Carga contaminante

Se realizó el cálculo de la carga contaminante del agua residual hospitalaria antes y después del tratamiento del agua, utilizando un caudal experimental de 5,9 L/s. Para llevar a cabo este cálculo, se aplicó la metodología establecida por IDEAM (2019, pp. 12-13) para la evaluación aproximada de la carga contaminante. Según dicha metodología, la reducción de la carga se calcula multiplicando el caudal por la concentración, mientras que la reducción de carga por el tratamiento se obtiene multiplicando la carga contaminante total por el porcentaje de eficiencia y dividiendo entre 100.

$$\text{Carga} = S * Q$$

Ecuación 3-10.

Donde:

Carga: Carga contaminante (Kg/Semana)

S: Concentración del contaminante de salida (mg/L)

Q: Concentración del contaminante de entrada (L/s)

3.4.8. Diseño de la PTAR

3.4.8.1. Selección del tren de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales hospitalarias se diseñó teniendo en cuenta el caudal, las características físico-químicas y microbiológicas del agua a tratar, con el fin de proponer las tecnologías más adecuadas para asegurar la correcta depuración del efluente y cumplir con los requisitos de la descarga de efluentes de acuerdo con los requisitos de la normativa ambiental vigente.

3.4.8.2. Elaboración de planos

Para realizar los planos correspondientes a los diferentes procesos de tratamiento se utilizó el programa AUTOCAD.

3.4.9. Evaluación económica

En esta sección se detallaron los costos del tratamiento de aguas residuales hospitalarias en base a diferentes estudios similares. Con estos parámetros se obtuvo una aproximación de la implementación de la PTAR con el fin de observar a futuro el impacto económico que tendrá la institución sobre esta alternativa.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Medición del caudal

La Tabla 1-4 muestra los datos obtenidos de la medición diaria del flujo de aguas residuales hospitalarias durante un período de 4 días consecutivos con intervalos de una hora entre las 9 mediciones diarias, las cuales se tomaron para reducir el error en la medición. El volumen utilizado fue 0,0103 m³.

Tabla 4-1: Resultados diarios del caudal

Hora	Caudal (L/s)			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
8:00	2,49	8,58	7,69	5,07
9:00	7,92	4,22	2,37	5,48
10:00	3,22	2,94	3,56	4,12
11:00	8,31	4,81	6,60	3,40
12:00	7,63	11,44	6,87	3,95
13:00	6,60	3,41	7,92	9,20
14:00	6,87	6,17	5,02	5,54
15:00	7,98	5,51	4,70	5,10
16:00	9,36	4,86	7,10	6,32
Caudal promedio (L/s)	6,71	5,77	5,76	5,35
Caudal promedio total (L/s)	5,9			

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

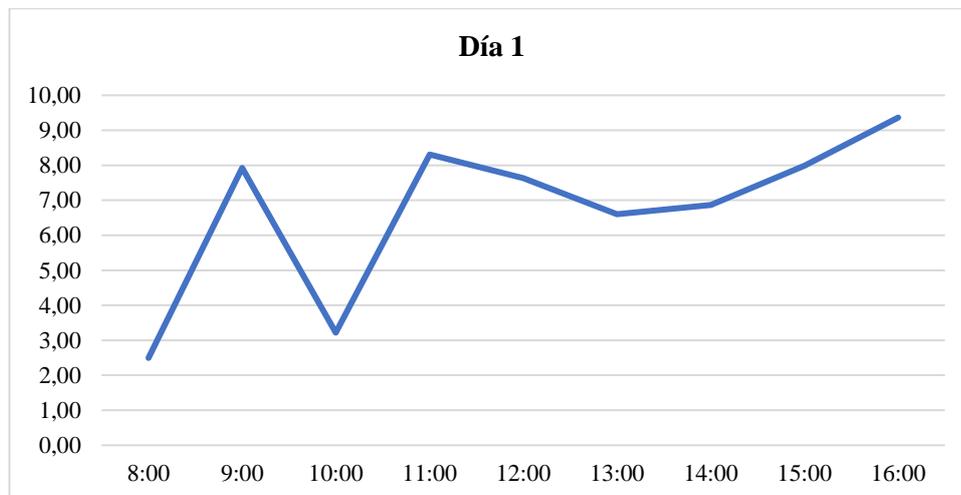


Ilustración 4-1: Caudal (L/s) obtenido en el Día 1

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

Los resultados del monitoreo muestran una variación significativa del caudal de las aguas residuales del hospital durante el primer día, con un máximo registrado a las 16:00 de 9,36 L/s y un mínimo a las 8:00 de 2,49 L/s. El caudal promedio durante el primer día fue de 6,71 L/s, lo que indica una carga constante en el sistema de tratamiento.

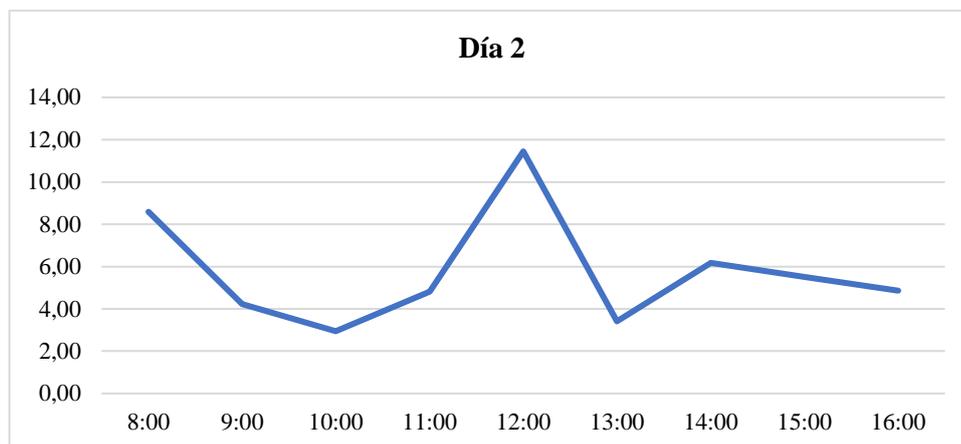


Ilustración 4-2: Caudal (L/s) obtenido en el Día 2

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

Durante el segundo día de monitoreo, se observó una variación en el caudal de las aguas residuales del hospital, con un máximo registrado a las 12:00 de 11,44 L/s y un mínimo a las 10:00 de 2,94 L/s. El caudal promedio durante este día fue de 5,77 L/s, ligeramente inferior al promedio del día anterior.

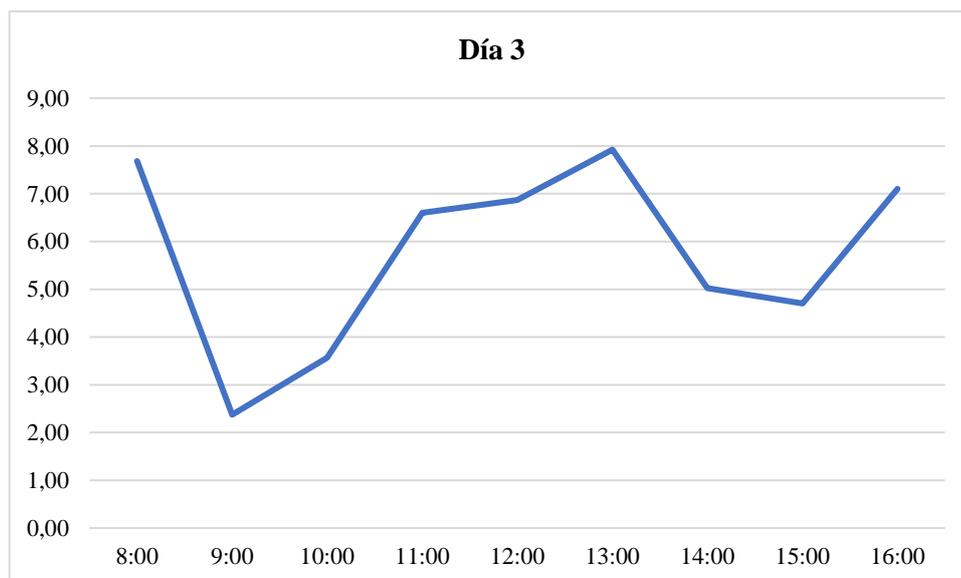


Ilustración 4-3: Caudal (L/s) obtenido en el Día 3

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

El tercer día de monitoreo también mostró una variación en el caudal de las aguas residuales del hospital. El máximo se registró a las 13:00 con 7,92 L/s y el mínimo a las 9:00 con 2,37 L/s. El caudal promedio durante este día fue de 5,76 L/s, similar al promedio del día anterior.

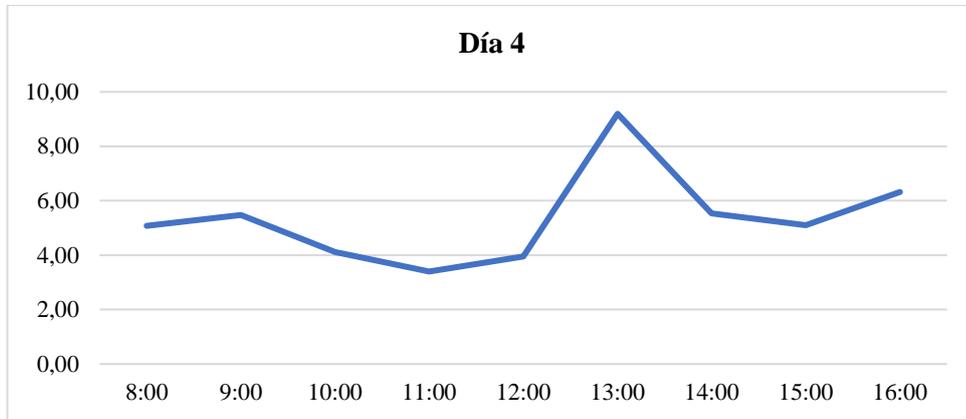


Ilustración 4-4: Caudal (L/s) obtenido en el Día 4

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

La variación de caudal en el día 4 también muestra una fluctuación importante, con un caudal promedio de 5,35 L/s. Se puede observar que a las 13:00 se registró el valor máximo de 9,2 L/s, mientras que a las 11:00 se registró el valor mínimo de 3,4 L/s. Estos resultados sugieren que el caudal de las aguas residuales hospitalarias puede variar significativamente a lo largo del día.

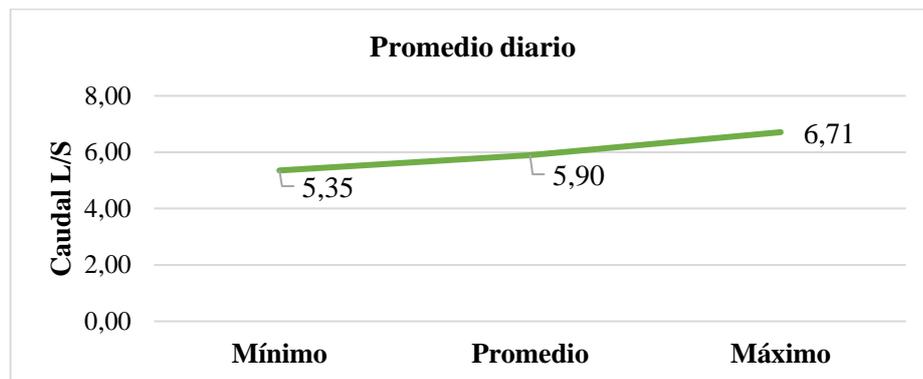


Ilustración 4-5: Caudal mínimo, promedio y máximo (L/s), Promedio diario

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

Los datos obtenidos del promedio diario del flujo de agua residual hospitalaria muestran una tendencia estable en el caudal durante el periodo de medición, con un valor mínimo de 5,35 L/s, un promedio de 5,90 L/s y un máximo de 6,71 L/s.

Varios autores han reportado una amplia variabilidad en el caudal de aguas residuales hospitalarias, debido a la variabilidad en la generación de aguas residuales en los hospitales y en el número de pacientes atendidos. Por ejemplo, en un estudio reciente realizado en un hospital en España, se reportó un rango de caudal de agua residual hospitalaria de 2,10 L/s a 9,98 L/s, con una media de 6,53 L/s y una desviación estándar de 1,98 L/s (Borrego et al., 2021, pp. 717-730).

En otro estudio realizado en Brasil, se reportó una variabilidad diaria en el caudal de agua residual hospitalaria, con un rango de 1,29 L/s a 8,89 L/s y una media de 4,39 L/s (Oliveira et al., 2020, p. 88). Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el presente estudio, lo que sugiere que la variabilidad en el caudal de aguas residuales hospitalarias es un fenómeno común.

Es importante tener en cuenta que los caudales de agua residual hospitalaria pueden variar ampliamente debido a factores como las prácticas médicas, la variabilidad en la demanda de agua y el uso de tecnologías médicas avanzadas.

4.1.1. Validación del caudal

La validación de los caudales es esencial para garantizar la precisión y fiabilidad de las mediciones. En este caso, se dispone de dos valores de caudal: uno experimental y otro teórico obtenido mediante la aplicación de las ecuaciones de diseño del apartado 3.4.5., utilizando los datos actuales del hospital. La comparación entre ambos valores es importante para verificar la precisión del caudal teórico y evaluar la calidad de las mediciones experimentales.

Al realizar la comparación, se observa que el caudal experimental promedio de 5,90 L/s es ligeramente inferior al caudal teórico de 6,22 L/s. Es importante tener en cuenta que existen factores que pueden afectar la precisión de las mediciones experimentales, como las condiciones ambientales y los errores de medición. A pesar de ello, la diferencia entre los valores es relativamente pequeña y puede considerarse aceptable en términos de validez.

4.2. Caracterización del agua residual

La Tabla 4-2 muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las cuatro muestras de efluentes recolectados del sitio de descarga del Hospital General Ambato al alcantarillado.

Tabla 2-4: Resultados de la caracterización del agua residual

Parámetros	Expresado como	Unidad	M₁	M₂	M₃	M₄
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	42,28	43,27	25	5,85
Aluminio	Al	mg/L	0,009	0,009	0,007	0,007
Arsénico total	As	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,001
Bario	Ba	mg/L	4,16	6,25	1,96	1,93
Bicarbonatos	HCO ₃	mg/L	2,56	10,96	8,64	3,68
Boro	B	mg/L	3,91	4,93	2,36	2,08
Cadmio	Cd	mg/L	0,008	0,009	0,007	2,08
Carbonatos	CO ₃	mg/L	1,34	4,97	3,67	1,84
Cianuro	CN ⁻	mg/L	0,009	0,009	0,008	0,006
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	745,93	1105	843,07	250,61
Cobalto	Co	mg/L	0,008	0,009	0,007	0,005
Cobre	Cu	mg/L	0,007	0,007	0,005	0,005
Coliformes fecales	NMP	NMP/100	2500	5000	1300	58
Coliformes totales	NMP	NMP/100	3200	7020	2400	70
Color		PtCo	55	100	45	20
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	0,19	0,23	0,21	0,14
DBO5		mg/L	341,08	682,69	373,64	110,28
DQO		mg/L	672,96	1240	685,04	245,63
Estaño	Sn	mg/L	0,38	0,4	0,25	0,16
Floruros	F	mg/L	5,96	7,64	6,27	4,93
Fósforo total	P-PO ₄	mg/L	12,65	13,67	12,34	20,68
Hierro total	Fe	mg/L	14,67	20,69	16,68	11,34
Manganeso total	Mn	mg/L	2,58	5,96	3,67	2,96
Níquel	Ni	mg/L	0,008	0,009	0,008	0,006
Nitrógeno Amoniacal	NG3-N	mg/L	2,64	1,97	0,93	0,59
Nitrógeno Total Kjeldahl		mg/L	59,53	96	52,63	35,96
Oxígeno Disuelto	OD		0,98	0,99	0,91	0,85
Plata	Ag	mg/L	0,008	0,009	0,006	0,007

Plomo	Pb	mg/L	0,007	0,008	0,007	0,006
Potencial de Hidrógeno	pH		5,63	4,56	4,93	5,48
Sólidos sedimentables	SD	mg/L	25	74	58	15
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	258,36	327,29	358,02	85
Sólidos totales	ST	mg/L	100,2	2022	943,17	850
Sulfatos	SO ₄	mg/L	44	50	45	40
Temperatura		°C	16,99	16,99	16,99	16,99
Tensoactivos		mg/L	1,93	1,71	0,74	30
Zinc	Zn	mg/L	1,93	1,94	0,93	0,94

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

La diferencia de valores entre cada muestra de acuerdo con Gil (2018, pp. 22-25) se debe a que el agua residual de los hospitales, debido a que los pacientes realizan diferentes actividades diariamente, cambia en cantidad y composición de manera significativa. Las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual de los hospitales, según Mesdaginia et al. (2019, pp. 34-40) está vinculado a varios factores, entre los que se encuentran el tipo de asistencia médica que se brinda, el número de camas, el personal, la condición social, cultural y económica de la sociedad, etc., por lo que es difícil asociar los resultados con los de otros centros médicos.

4.2.1. Evaluación de la caracterización del agua residual

El análisis de las aguas residuales hospitalarias se realizó con el fin de determinar el cumplimiento de los límites establecidos en el Anexo 1, Libro VI, Tabla 8 del TULSMA, en la tabla 4-3 se detalla el cumplimiento de cada parámetro a partir del promedio de las cuatro muestras.

Tabla 4-3: Evaluación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente

Parámetros	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad	Mín.	Max	Promedio	Cumplimiento
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	70	5,85	43,27	29,100 ±	Cumple
Aluminio	Al	mg/L	5	0,007	0,009	0,008 ±	Cumple

Arsénico total	As	mg/L	0,1	0,001	0,01	0,008 ±	Cumple
Bario	Ba	mg/L		1,93	6,25	3,575 ±	Cumple
Bicarbonatos	HCO ₃	mg/L		2,56	10,96	6,460 ±	Cumple
Boro	B	mg/L		2,08	4,93	3,320 ±	Cumple
Cadmio	Cd	mg/L	0,02	0,007	2,08	0,526 ±	Cumple
Carbonatos	CO ₃	mg/L		1,34	4,97	2,955 ±	Cumple
Cianuro	CN	mg/L	1	0,006	0,009	0,008 ±	Cumple
Cloruros	Cl	mg/L	1000	250,6	1105	736,153 ±	Cumple
				1			
Cobalto	Co	mg/L	0,5	0,005	0,009	0,007 ±	Cumple
Cobre	Cu	mg/L	1	0,005	0,007	0,006 ±	Cumple
Coliformes fecales	NMP	NMP/10	-	58	5000	2214,500 ±	Cumple
Coliformes totales	NMP	NMP/10	-	70	7020	3172,500 ±	Cumple
Color		PtCo	-	20	100	55,000±	Cumple
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5	0,14	0,23	0,193 ±	Cumple
DBO ₅		mg/L	250	110,2	682,6	376,923±	No cumple
				8	9		
DQO		mg/L	500	245,6	1240	710,908	No cumple
				3			
Estaño	Sn	mg/L	-	0,16	0,4	0,298±	Cumple
Fluoruros	F	mg/L	-	4,93	7,64	6,200 ±	Cumple
Fósforo total	P-PO ₄	mg/L	15	12,34	20,68	14,835 ±	Cumple
Hierro total	Fe	mg/L	25	11,34	20,69	15,845 ±	Cumple
Manganeso total	Mn	mg/L	10	2,58	5,96	3,793 ±	Cumple
Níquel	Ni	mg/L	2	0,006	0,009	0,008 ±	Cumple
Nitrógeno Amoniacal	NH ₃ -N	mg/L	-	0,59	2,64	1,533 ±	Cumple
Nitrógeno Total Kjeldahl		mg/L	60	35,96	96	61,030 ±	No cumple
Oxígeno Disuelto	OD		-	0,85	0,99	0,933 ±	Cumple
Plata	Ag	mg/L	0,5	0,006	0,009	0,008 ±	Cumple
Plomo	Pb	mg/L	0,5	0,006	0,008	0,007	Cumple
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9	4,56	5,63	5,150 ±	No cumple

Sólidos sedimentables	SD	mg/L	20	15	74	43,000 ±	No cumple
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220	85	358,02	257,168 ±	No cumple
Sólidos totales	ST	mg/L	1600	100,2	2022	978,843 ±	Cumple
Sulfatos	SO4	mg/L	400	40	50	44,750 ±	Cumple
Temperatura	-	°C	< 40	16,99	16,99	16,990 ±	Cumple
Tensoactivos	-	mg/L	2	0,74	30	8,595 ±	Cumple
Zinc	Zn	mg/L	10	0,93	1,94	1,435 ±	Cumple

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

Al analizar los valores mínimos y máximos de cada parámetro en el agua residual del Hospital General Ambato, se observa una variación significativa en varios parámetros. Esta variación puede estar relacionada con diversos factores específicos para cada parámetro. Por ejemplo, la diferencia en los niveles de aceites y grasas puede ser resultado de la diversidad de alimentos preparados, procedimientos quirúrgicos y prácticas de limpieza en el hospital. Asimismo, la presencia de bicarbonatos puede variar debido a las actividades y procesos internos del hospital, y los niveles de cloruros pueden ser influenciados por el uso de productos desinfectantes y la calidad del agua de suministro (World Health Organization, 2017, p.1; Mesdaginia et al., 2019, pp. 34-40).

El cambio de color en el agua puede ser causado por diversas razones. Estas pueden ir desde la presencia de partículas o burbujas de aire que no representan un riesgo directo para la salud humana, hasta la presencia de subproductos de desinfección y materia orgánica que pueden provocar un cambio en el color del agua (Pure Aqua, 2023, p.1). La variación en los niveles de coliformes fecales y totales en las aguas residuales hospitalarias se debe a factores como la heterogeneidad en las fuentes de contaminación, la presencia de diversos microorganismos fecales y los factores ambientales. La heterogeneidad se refiere a la diversidad de fuentes de contaminación, como el lavado de manos y la limpieza de equipos médicos. Además de los coliformes fecales, pueden encontrarse otros microorganismos fecales que contribuyen a la variabilidad de los niveles de contaminación. Los factores ambientales, como la temperatura, el pH y la presencia de sustancias químicas, también influyen en la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos (Majumder, 2021, p. 104812).

Según lo señalado por Majumder (2021, p. 104812), la variación en los valores máximos y mínimos de la DBO y la DQO puede ser atribuida a la fluctuante carga orgánica presente en las muestras

recolectadas, así como a la diversidad de contaminantes presentes en el agua residual. Asimismo, los niveles de nitrógeno amoniacal y nitrógeno total Kjeldahl pueden experimentar variaciones debido a la composición de los desechos generados por el hospital y la actividad bacteriana.

La variación en los valores máximos y mínimos de los sólidos sedimentables, suspendidos totales y totales en el agua residual puede ser atribuida a dos factores principales. Por un lado, la presencia de diferentes tipos de sólidos, como partículas orgánicas, inorgánicas, residuos industriales o productos químicos, puede influir en los niveles y características de estos parámetros. Por otro lado, la hidrodinámica del sistema de alcantarillado, incluyendo el flujo, la velocidad y dirección del agua, así como la presencia de obstrucciones o sedimentación en las tuberías, también puede afectar la variación de los niveles de sólidos (Rammal, 2016 pp.103-110). Por último, la variación en los niveles de tensoactivos puede estar relacionada con la cantidad y tipo de productos químicos utilizados en el hospital, así como las prácticas de limpieza y desinfección (Majumder, 2021, p. 104812).

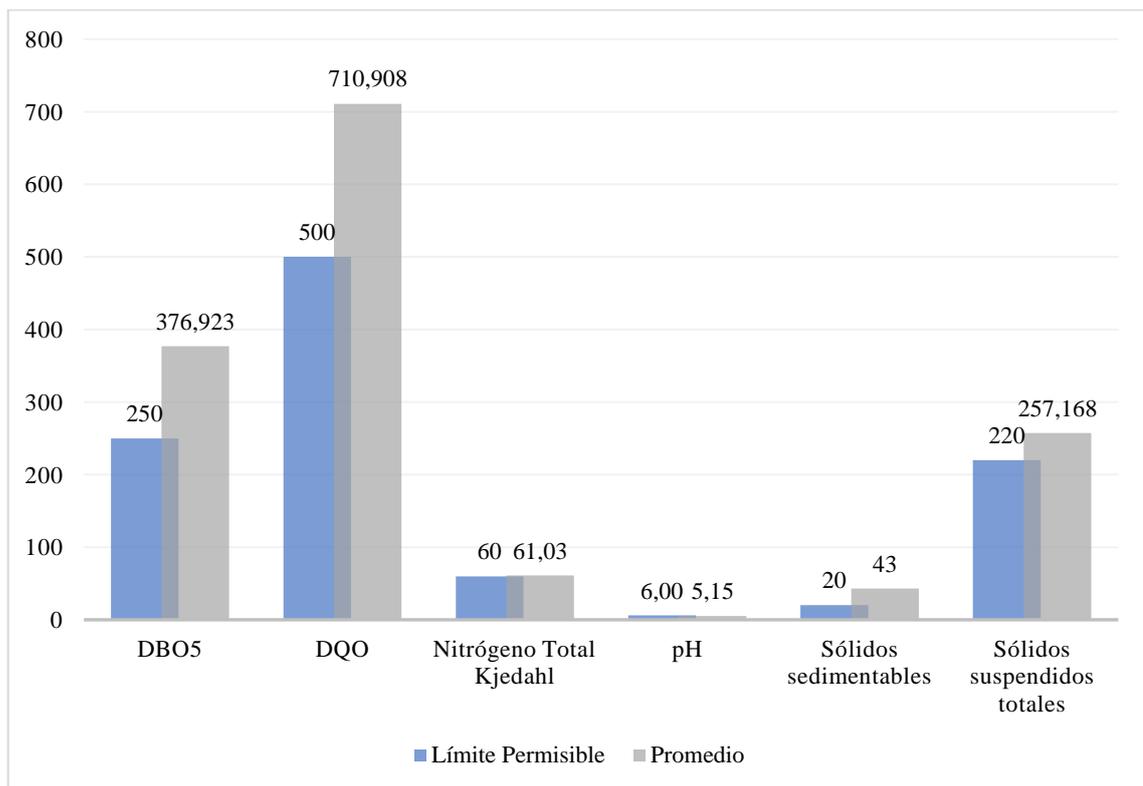


Ilustración 4-6: Parámetros que no cumplen con la normativa ambiental vigente

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

De acuerdo con lo detallado en la tabla 4-3, los parámetros que no cumplen con la normatividad son: DBO₅: 376,923 mg/L, DQO: 710,908 mg/L, Nitrógeno Kjeldahl Total: 61,030 mg/L, pH: 5,150, Sólidos sedimentables: 43,000 mg/L, Sólidos suspendidos totales: 257,168 mg/L, estando

los demás parámetros analizados dentro de los límites permisibles de la normativa ambiental antes mencionada. Las aguas residuales hospitalarias se generan en diferentes departamentos de un hospital incluyendo salas, quirófanos, laboratorios, salas clínicas, lavandería y tiene una composición muy variable dependiendo de las actividades involucradas. Los resultados obtenidos son consistentes porque Anwar (2019, pp. 5-6) afirma que los contaminantes habituales en las aguas residuales hospitalarias son DBO₅, DQO, SS, SST, que en general son más elevados que en las aguas residuales municipales.

- **DBO₅**

En la ilustración 4-6 se observa que la cantidad de DBO₅ que se obtuvo es superior en un 50,77% al valor de 250 mg/L permitido en la normativa ambiental. Según los monitoreos realizados por Gil (2018, pp. 21-22) a diferentes instituciones de salud de Latinoamérica, el valor de este parámetro puede variar entre 77 mg/L y 603 mg/L, el autor define que el valor depende de las actividades diarias que se lleven a cabo en dichas instituciones. El DBO₅ es un indicador indirecto de la cantidad total de sustancias biodegradables presentes en el agua. Según Baires (2020, p.1), este valor es crucial para evaluar la gravedad de la contaminación que el agua residual ejerce sobre el ecosistema. Según este autor, existe una relación inversa entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un cuerpo de agua y la disponibilidad de oxígeno para la vida acuática. En otras palabras, a medida que aumenta la DBO, disminuye la cantidad de oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

- **DQO**

En la ilustración 6-4 se observa que el porcentaje analizado está un 42,18% por encima del valor de 500 mg/L permitido en la normativa ambiental. En comparación con los hallazgos de Gil (2018, pp. 21-22), el valor medido se encuentra dentro del rango de valores de agua hospitalaria detectados en varios países, que van desde 257 mg/L hasta 1067 mg/L. Este parámetro es el único que monitorea la cantidad de residuos industriales presentes en el agua, que es imposible de medir por parte de DBO, es por ello por lo que es de suma importancia en las plantas de tratamiento y efluentes (Tecnal, 2021, p.2). Herrera (2019, pp.8-19) indica que tanto el DQO como el DBO₅ son indicadores de la contaminación presente en el agua. Afirma que un número alto indica una calidad de agua deficiente.

- **Nitrógeno Total Kjeldahl**

El valor de este parámetro supera el límite de 60 mg/L permitido en un 1,72% (Ilustración 4-6). Gil (2018, pp. 21-22) señala que el nitrógeno total en instituciones de salud puede variar entre 10 mg/L y 94 mg/L. Este parámetro determina la suma de las diversas formas de nitrógeno orgánico (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y los iones de amonio NH_4^+ , presentes en la muestra de agua. De acuerdo con USGS (2019, p. 1-4) el exceso de nitrógeno puede provocar un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, lo que causaría la obstrucción de las entradas de agua, la utilización del oxígeno disuelto y la falta de luz en las aguas profundas. Esto tiene un efecto significativo en la respiración de los peces y otros invertebrados acuáticos, lo que reduce la diversidad animal y vegetal, además de afectar negativamente el uso del agua para fines agrícolas o recreativos.

- **pH**

En cuanto al pH, se define como una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El valor resultante es un 14,67% inferior al valor de 6, que es el límite permitido (ilustración 4-6). Asimismo, el valor obtenido es inferior a los informados por Gil (2018, pp. 21-22), ya que el valor de pH mínimo encontrado en su estudio fue de 5,8. De acuerdo con Vasco (2022, p. 34) los valores de pH entre 5 y 9 no representan un obstáculo significativo para el desarrollo de la vida, por otro lado, las aguas con valores de pH por debajo de 5 y por encima de 9 son difíciles de tratar biológicamente. Cuando el agua se descarga sin tratamiento, es decir, sin corrección de pH, el receptor se ve gravemente afectado. Herrera (2019, pp. 8-19) afirma que el agua con pH bajo indica la presencia de metales, en tanto que el agua con pH alto presenta una elevada cantidad de minerales disueltos.

- **Sólidos sedimentables**

Este parámetro supera en un 115% el valor de 20 mg/L, definido en la normativa ambiental y es el parámetro que más incumple la normativa (Ilustración 4-6). De acuerdo con Herrera (2019, pp. 8-19), los sólidos sedimentables se definen como todos los sólidos que dejan de estar en suspensión después de sedimentarse por un período de tiempo. Además, estos sólidos muestran la cantidad de sólidos que se pueden eliminar ejecutando un proceso físico o mecánico.

- **Sólidos suspendidos totales**

El valor de este parámetro es 16,87% mayor al límite de 220 mg/L permitido en la normativa. Este número se asemeja a los reportados por Gil (2018, p. 21-22), las concentraciones de los valores

variaron de 101 mg/L a 550 mg/. Los sólidos en suspensión juegan un papel importante como contaminantes, tanto por las sustancias orgánicas o inorgánicas de las que están formados, como por el transporte de patógenos en la superficie de dichas partículas. Peña (2019, pp. 21-24) sostiene que cuanto menor es el tamaño de la partícula, mayor es la superficie de la partícula por unidad de masa y, por tanto, mayor es la carga de patógenos que puede transportar. Además, de acuerdo con HACH (2023, p.1), la presencia de altos niveles de sólidos suspendidos totales puede influir en la turbidez, la temperatura del agua y los niveles de oxígeno disuelto (OD). Debido a niveles elevados de sólidos en suspensión, el agua experimenta un calentamiento más rápido debido a la absorción de calor por parte de las partículas suspendidas. Además, este fenómeno conlleva un mayor consumo de oxígeno, lo cual resulta perjudicial para la vida acuática.

4.3. Pruebas de tratabilidad

4.3.1. Índice de biodegradabilidad

Tras los resultados de la caracterización, se calculó el índice de biodegradabilidad para determinar el nivel de biodegradabilidad del agua residual.

$$I_{\text{BIOD}} = \frac{376,923}{710,908}$$

$$I_{\text{BIOD}} = 0,530$$

El agua residual del Hospital General Ambato tiene una biodegradabilidad promedio, como se evidencia por la relación DBO/DQO de 0,530, de acuerdo con la tabla 5-3, este valor indica que se puede emplear un tratamiento químico o físico para su depuración, optando en el presente estudio por el tratamiento físico químico.

4.3.2. Prueba de jarras

Los resultados de la prueba de jarras realizada por el Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G. se presentan en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Resultado de la prueba de jarras

PA C	Concentración (mg/L)	Dosis (mL)		Turbiedad (NTU)		% Remoción
	CHEMFLOC	PAC	CHEMFLOC	Inicial	Final	
0,02	0,009	5	2,5	250,65	120,05	52,10
0,02	0,009	10	5	250,65	70,83	71,74
0,02	0,009	15	7,5	250,65	3,58	98,57
0,02	0,009	20	10	250,65	62,34	75,13
0,02	0,009	25	12,5	250,65	100,09	60,07

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del E.P-EMAPA-G.

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

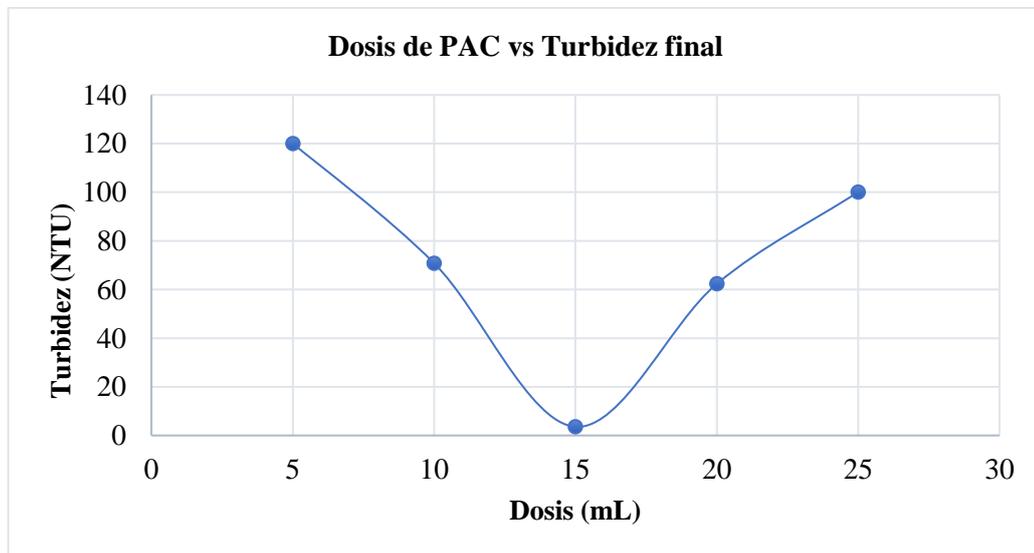


Ilustración 4-7: Dosis de coagulante PAC (mL) vs Turbiedad final (NTU)

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

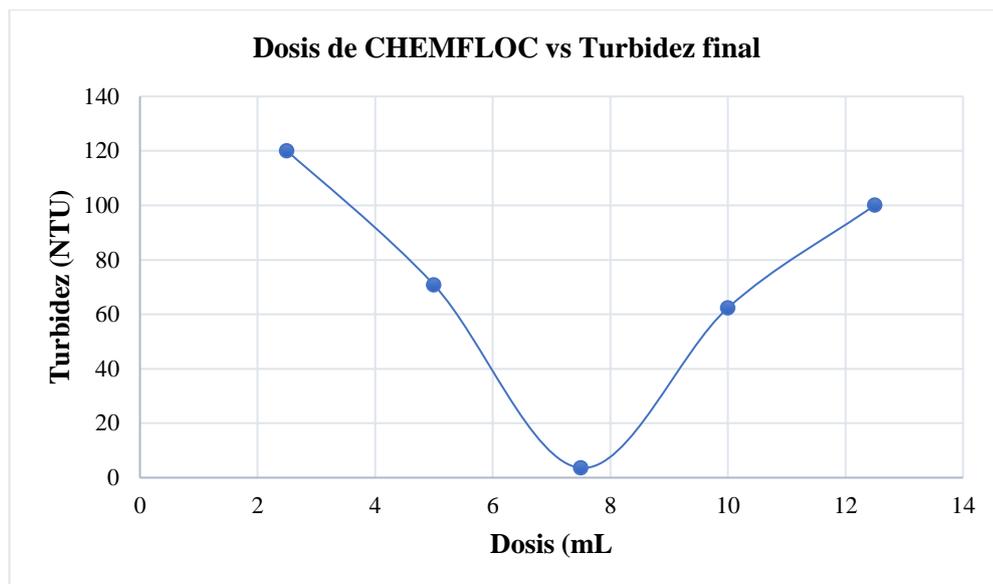


Ilustración 4-8: Dosis de coagulante CHEMFLOC (mL) vs Turbiedad final (NTU)

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Las ilustraciones 4-7 y 4-8 presentan los resultados de la prueba de jarras para el tratamiento de aguas residuales de hospital utilizando dos diferentes coagulantes, PAC al 2% y CHEMFLOC al 0,9%. En general, ambos coagulantes demostraron una alta eficacia en la remoción de la turbidez en el agua residual de hospital, con porcentajes de remoción que oscilaron entre el 52,10% y el 98,57%, dependiendo de la dosis utilizada. La dosis óptima de cada coagulante puede variar, sin embargo, se observa que para el PAC, la dosis óptima es de 15 mL, mientras que para el CHEMFLOC, la dosis óptima es de 7,5 mL.

4.4. Diseño de la PTAR

4.4.1. *Tren de tratamiento*

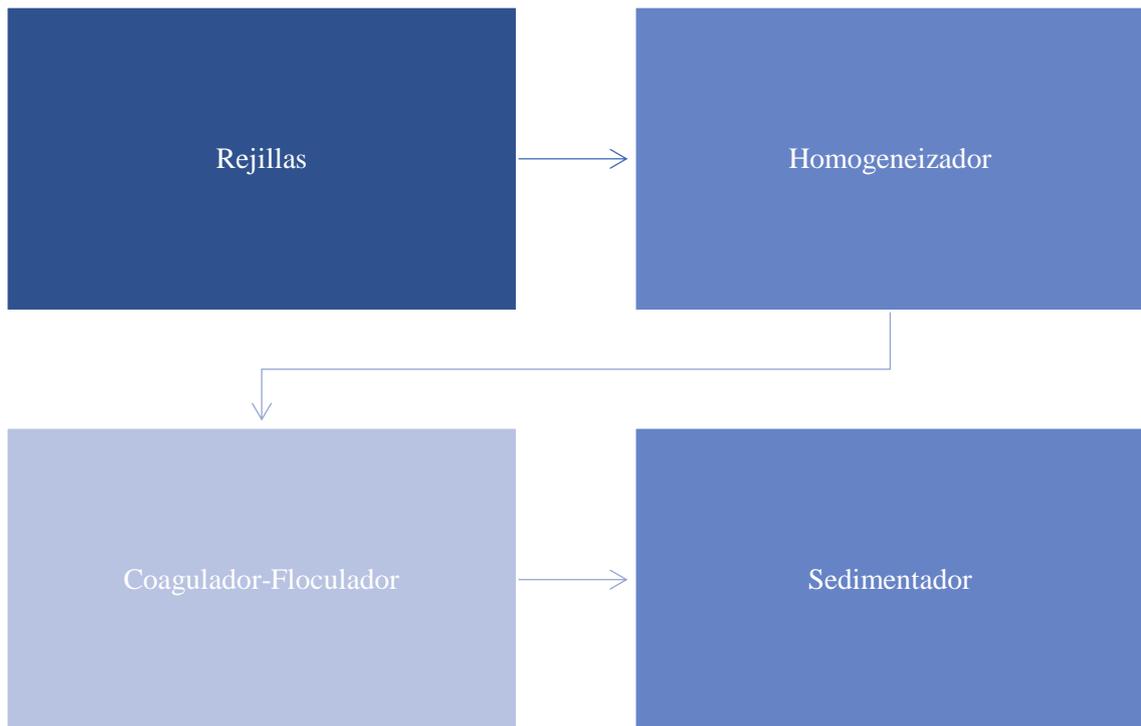


Ilustración 4-9: Tren de tratamiento

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

En primer lugar, se propone un pretratamiento, que consiste en un sistema de rejilla manual de acuerdo con Chimbolema (2018, pp. 36-49) este tipo de rejillas son ideales para eliminar partículas mayores de 100 μm . Dado que el caudal monitoreado varía, lo que puede provocar cambios y dificultar los procedimientos posteriores, en el pretratamiento también se propone un homogeneizador, ya que, al implementar dicho tanque, además de amortiguar el cambio del caudal, también es posible estabilizar el pH del efluente, Guamán (2021, pp.43-44) afirma que este procedimiento se suele emplear cuando el agua residual es esporádica y el volumen es bajo. Como tratamiento primario se ha considerado el sistema de coagulación-floculación por ser ideal para la clarificación ya que se elimina la mayor parte de los sólidos en suspensión. Asimismo, el proceso de coagulación remueve la turbiedad orgánica e inorgánica (DBO y DQO), el color verdadero y aparente, algunos patógenos bacterianos y algunos compuestos que causan mal olor y sabor (Fúquene y Yate, 2018, p.7). Finalmente, se recomienda un sistema de sedimentación como tratamiento secundario, ya que permite que los flóculos formados en la etapa anterior se depositen por gravedad al fondo del tanque, clarificando y eliminando los contaminantes presentes en el agua residual.

4.5. Base de diseño

4.5.1. *Proyección poblacional*

Para determinar la proyección poblacional del hospital en los próximos 20 años, se utilizó la ecuación 3-1 y se tomaron en cuenta los datos del apartado 3.4.4.2. Los resultados obtenidos arrojaron información relevante acerca del número de personas que serán atendidas y la cantidad de camas disponibles en ese período de tiempo.

$$P_t = 262.827 \left(1 + \frac{1,01}{100}\right)^{20}$$
$$P_t = 321.334 \text{ afiliados}$$

Se estima que para 2042, el hospital atenderá a 321.334 pacientes.

- **Proyección poblacional del área de hospitalización**

$$P_t = 217 \left(1 + \frac{0,019}{100}\right)^{20}$$
$$P_t = 217,83 = 218 \text{ camas}$$

Se calcula que para el año 2042, el hospital tendrá 218 camas.

Es importante destacar que estos resultados son fundamentales para la planificación y el diseño del hospital, ya que permiten anticipar las necesidades futuras y garantizar una atención de calidad a la comunidad.

4.6. Caudal de diseño

4.6.1. *Caudal medio diario*

A partir de la ecuación 3-2 se calculó el caudal medio diario, obteniendo el siguiente resultado.

$$Q_m = 0,8 \left(\frac{218 \text{ (cama)} * 800 \left(\frac{L}{\text{cama} * \text{día}} \right)}{86400(s)} \right)$$
$$Q_m = 1,615 \text{ L/s}$$

4.6.2. *Caudal de infiltración*

Según el Grupo Técnico de Clima e Hidrología MAGAP - IEE, la infiltración en la provincia de Tungurahua es moderada, por lo que se optó por una constante de 0,3. Además, según la información general proporcionada por el hospital, la superficie del área de estudio es de 3.821 ha.

El caudal de infiltración se determinó a partir de la ecuación 3-3.

$$Q_{INF} = 0,3 \left(\frac{L}{S} * Ha \right) * 3,821(Ha)$$

$$Q_{INF} = 1,146 \text{ L/s}$$

4.6.3. Caudal de conexiones erradas

El caudal de conexiones erradas se determinó a partir de la ecuación 3-4.

$$Q_{CE} = 15\% * (1,615 \left(\frac{L}{S} \right))$$

$$Q_{CE} = 0,242 \frac{L}{S}$$

4.6.4. Caudal máximo diario

Para calcular el caudal máximo diario se utilizó la ecuación 3-5 y 3-6.

Factor de mayorización

$$F = \frac{3,114}{1,615^{0,062}}$$

$$F = 3,022$$

$$Q_{MD} = 1,615 * 3,022$$

$$Q_{MD} = 4,880 \text{ L/s}$$

4.6.5. Caudal de diseño total

Para calcular el volumen de conexiones incorrectas, se tomó como base la ecuación 3-7.

$$Q_{Diseño} = 4,880 \left(\frac{L}{S} \right) + 1,146 \left(\frac{L}{S} \right) + 0,242 \left(\frac{L}{S} \right)$$

$$Q_{Diseño} = 6,276 \text{ L/s}$$

Siguiendo la recomendación de Vasco (2022, p. 93), la PTAR se diseñará para un caudal con un factor de seguridad de 1,10, obtenido así:

$$Q_{Diseñototal} = 1,10 \left(6,276 \left(\frac{\text{L}}{\text{s}} \right) \right)$$

$$Q_{Diseñototal} = 6,90 \text{ L/s}$$

Tabla 4-5: Resumen del cálculo de caudales

Parámetro	Resultado (L/s)
Caudal medio	1,615
Caudal máximo	4,880
Caudal de diseño	6,904

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2022.

4.6.6. Dimensionamiento de la PTAR

4.6.6.1. Sistema de rejillas

Los cálculos para cada uno de los tratamientos se muestran a continuación, aplicando las fórmulas descritas en el capítulo II y los criterios de diseño especificados en la tabla 2-8 y 2-9.

- **Área libre del paso de agua**

Para determinar el área libre necesaria en el diseño del sistema hidráulico, se utilizó la ecuación 2-1 y se consideraron los criterios de diseño establecidos en la tabla 9-2 para la velocidad de aproximación.

$$A_L = \frac{6,904 * 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/s)}}{0,6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}$$

$$A_L = 0,0115 \text{ m}^2$$

- **Altura del tirante en el canal**

Basándose en la ecuación de 2-2 se calculó la altura del tirante. Se asumió un ancho de 0,5 m a partir del criterio de diseño de la tabla 8-2.

$$h_a' = \frac{0,012(m^2)}{0,5(m)}$$

$$h_a' = 0,024 \text{ m}$$

- **Altura del canal**

Basándose en la ecuación de 2-3 se calculó la altura del canal. Para garantizar la seguridad en el diseño, se estableció una altura de seguridad de 0.15 m, tomando como referencia la normativa RAS 2000 TITULO E.

$$H = 0,024(m) + 0,15(m)$$

$$H = 0,17 \text{ m}$$

Para construcción se asume que:

$$H = 0,20 \text{ m}$$

- **Longitud de las barras**

La longitud se calculó utilizando la ecuación 2-4., el ángulo de inclinación de las barras se asumió a partir de lo indicado en la tabla 2-9.

$$L_b = \frac{0,20(m)}{\text{Sen}(40)}$$

$$L_b = 0,30 \text{ m}$$

- **Número de barras**

El número de barras se calculó utilizando la ecuación 2-5. El espesor y separación de barras se asumió a partir de la tabla 2-9.

$$n = \frac{0,5(m)}{0,0125(m) + 0,03(m)} - 1$$

$$n = 10,76 = 11 \text{ barras}$$

- **Pérdida de carga**

La pérdida de carga se calculó a partir de la ecuación 2-6. Para llevar a cabo el cálculo se tuvo en cuenta la forma de las rejillas tipo G, ya que, de acuerdo con varios estudios, este es el tipo de rejillas que se utiliza más frecuentemente, el factor de pérdida es de 1,79.

$$H_f = 1,79 \left(\frac{0,0125}{0,03} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{0,6^2 \left(\frac{m}{s} \right)}{2 \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right)} \right) * \text{sen } 40$$

$$H_f = 0,007 \text{ (m)}$$

Según Quinatoa (2018, pp. 37-38) el valor permisible de pérdida de carga es <0.15 m, por lo que los resultados obtenidos son óptimos.

4.6.6.2. Homogeneización

- **Área del homogeneizador**

Se consideró una carga superficial de 50 (m^3/m^2*d) ya que es el valor típico utilizado de acuerdo con Quinatoa (2020, pp. 14). Para el cálculo del área se utilizó la ecuación 2-7.

$$A_h = \frac{6,904 * 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}}{5,78 * 10^{-4} \left(\frac{m^3}{m^2 * s} \right)}$$

$$A_h = 11,95 \text{ (m}^2\text{)}$$

- **Diámetro del homogeneizador**

A partir de la ecuación 2-8 se determinó el diámetro del homogeneizador.

$$D_h = \sqrt{\frac{4 * 11,95 \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}}$$

$$D_h = 3,90 \text{ (m)}$$

- **Radio del homogeneizador**

A partir de la ecuación 2-9 se determinó el diámetro del homogeneizador.

$$r_h = \sqrt{\frac{11,95(m^2)}{\pi}}$$

$$r_h = 1,95 \text{ (m)}$$

- **Volumen del homogeneizador**

Para calcular el volumen del tanque, se utilizó la ecuación 2-10 y se consideró una altura de 1,5 m. Según Mefcalf & Eddy (1995; citado por Quinatoa, 2020, pp.14), esta altura puede variar entre 1,5 y 2 m.

$$V_h = 11,95(m^2) * 2(m)$$

$$V_h = 23,9 \text{ (m}^3\text{)}$$

Mezclador para el homogeneizador

- **Diámetro del impulsor**

Para calcular el diámetro del impulso, se utilizó la ecuación 2-11.

$$d_i = \frac{3,90 \text{ (m)}}{3}$$

$$d_i = 1,3 \text{ (m)}$$

- **Altura del impulsor respecto al fondo del tanque**

La altura del impulsor se calculó a partir de la ecuación 2-12.

$$H_i = 1,3 \text{ (m)}$$

- **Ancho de las palas del impulsor**

El ancho de los impulsores se calculó a partir de la ecuación 2-13.

$$q = \frac{1,3 \text{ (m)}}{5}$$

$$q = 0,26 \text{ (m)}$$

- **Longitud de las palas del impulsor**

La longitud de las palas del impulsor se calculó a partir de la ecuación 2-14.

$$l = \frac{1,3 \text{ (m)}}{4}$$
$$l = 0,33 \text{ (m)}$$

- **Longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central**

La longitud de las palas del impulsor se calculó a partir de la ecuación 2-15.

$$l_{DC} = \frac{0,33 \text{ (m)}}{2}$$
$$l_{DC} = 0,17 \text{ (m)}$$

- **Número de deflectores**

De acuerdo con la recomendación de Guamán (2021, p.53), se sugiere la instalación de cuatro deflectores en el tanque.

- **Ancho de los deflectores**

La determinación del ancho de los deflectores se realizó mediante la aplicación de la ecuación 2-16.

$$W_d = \frac{1,33 \text{ (m)}}{10}$$
$$W_d = 0,13 \text{ (m)}$$

- **Diámetro del disco central**

Utilizando la ecuación 2-17, se calculó el diámetro del disco central.

$$s = \frac{1,33 \text{ (m)}}{4}$$

$$s = 0,33 \text{ (m)}$$

- **Potencia disipada en la mezcla**

Utilizando la ecuación 2-18, se calculó la potencia. El gradiente de velocidad fue obtenido de la tabla 11-2 y la viscosidad dinámica se determinó considerando la temperatura del agua de 20°C.

$$P = 250 (s^{-1})^2 * 0,001109 \left(\frac{Nm}{s^2}\right) * 23,9 (m^3)$$

$$P = 1656,57 \text{ (W)}$$

$$P = 2,22 \text{ hp}$$

4.6.6.3. Tanque de agitación para Coagulación - Floculación

- **Volumen del tanque**

Para llevar a cabo el cálculo se toma como referencia la ecuación 2-19 y la cantidad de tiempo de retención estipulado en la tabla 2-12 correspondiente a 1800 segundos.

$$V_{CF} = 6,904 * 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s}\right) * 1800(s)$$

$$V_{CF} = 12,43 (m^3)$$

- **Diámetro del tanque**

El diámetro se calculó a partir de la ecuación 2-20. La relación a y b se asumieron a partir de la Tabla 2-12.

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * 12,43 (m^3) * 3}{\pi * 3,5}}$$

$$DT = 2,38 (m) = 2,40 (m)$$

- **Profundidad de la cámara de mezcla**

La profundidad de mezcla se calculó a partir de la ecuación 2-21.

$$\mathbf{H} = 3,5 * \frac{2,40 (m)}{3}$$

$$\mathbf{H} = 2,8 (m)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{3,00 (m)}$$

- **Diámetro de la turbina**

El diámetro de turbina se calculó a partir de la ecuación 2-22.

$$\mathbf{D} = \frac{2,40 (m)}{3}$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{0,80 (m)}$$

- **Ancho de los deflectores**

El ancho de los deflectores se calculó a partir de la ecuación 2-23.

$$\mathbf{W_d} = \frac{0,80 (m)}{10}$$

$$\mathbf{W_d} = \mathbf{0,08 (m)}$$

$$\mathbf{W_d} = \mathbf{0,1 (m)}$$

- **Dimensión de las paletas**

- *Longitud*

Utilizando la ecuación 2-24, se calculó la longitud de la paleta.

$$\mathbf{B} = \frac{0,8 (m)}{4}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{0,20 (m)}$$

- *Alto*

Utilizando la ecuación 2-25, se calculó el alto de la paleta.

$$\mathbf{W} = \frac{0,8 (m)}{4}$$

$$\mathbf{W = 0,20 (m)}$$

- *Ancho*

Utilizando la ecuación 2-26, se calculó el ancho de la paleta.

$$\mathbf{q = \frac{0,8 (m)}{5}}$$
$$\mathbf{q = 0,16 (m)}$$

- *Diámetro del disco central*

Utilizando la ecuación 2-27, se calculó el diámetro del disco central.

$$\mathbf{s = \frac{2,40 (m)}{4}}$$
$$\mathbf{s = 0,60 (m)}$$

- *Altura del impulsor respecto al fondo*

Utilizando la ecuación 2-28, se calculó la altura del impulsor respecto al fondo.

$$\mathbf{h = \frac{0,8 (m)}{1}}$$
$$\mathbf{h = 0,8 (m)}$$

- *Potencia aplicada*

Utilizando la ecuación 2-29, se calculó la potencia. El gradiente de velocidad fue obtenido de la tabla 2-12 y la viscosidad dinámica se determinó considerando la temperatura del agua de 20°C.

$$\mathbf{P = 500 (s^{-1})^2 * 0,001109 \left(\frac{Nm}{s^2}\right) * 12,43 (m^3)}$$
$$\mathbf{P = 3446,22 (W)}$$
$$\mathbf{P = 5 hp}$$

- *Velocidad de rotación*

Utilizando la ecuación 2-30. Se determinó la velocidad de rotación a partir de los datos suministrados en la Tabla 2-13 para una turbina de 6 palas planas.

$$N = \sqrt[3]{\frac{3446,22 \text{ (W)}}{71 * 999,03 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 0,8(\text{m})^5}}$$

N = 0,53 rev/s
N = 31,8 RPM

- **Cálculo de la dosificación**

El cálculo de la dosificación se realizó a partir de la fórmula 2-31.

Policloruro de Aluminio al 2%

$$D_{\text{óptima}} = \frac{17200 \text{ (L)} * 0,015 \text{ (L)}}{1 \text{ (L)}}$$

D_{óptima} = 258 L/día

La cantidad de PAC aplicada es de 258 litros por día de tratamiento para el volumen de almacenamiento de 12,43 m³. Se asume que se necesita 9 horas de uso del químico, por lo que la dosis es de 96,75 litros.

Chemfloc al 0,9%

$$D_{\text{óptima}} = \frac{17200 \text{ (L)} * 7,5 * 10^{-3} \text{ (L)}}{1 \text{ (L)}}$$

D_{óptima} = 129 L/día

La cantidad de PAC aplicada es de 129 litros por día de tratamiento para el volumen de almacenamiento de 12,43 m³. Se asume que se necesita 9 horas de uso del químico, por lo que la dosis es de 48,38 litros.

- **Cálculo de la cantidad**

El cálculo de la dosificación se realizó a partir de la fórmula 2-32.

Policloruro de Aluminio al 2%

$$C_c = \frac{0,02 \text{ (g)}}{\text{(mL)}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1L} * 96,75 \text{ (L)}$$
$$C_c = 1935 \text{ g} = 1,94 \text{ kg}$$

Chemfloc al 0,9%

$$C_c = \frac{0,009 \text{ (g)}}{\text{(mL)}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1L} * 48,38 \text{ (L)}$$
$$C_c = 435,42 \text{ g} = 0,44 \text{ kg}$$

4.6.6.4. *Sedimentador circular*

- **Área superficial**

La carga superficial se calculó a partir de la ecuación 2-33. Se asume de acuerdo con la tabla 14-2 una carga superficial de $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.

$$A_s = \frac{6,904 * 10^{-3} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{5,78 * 10^{-4} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{s}} \right)}$$
$$A_s = 11,94 \text{ (m}^2\text{)}$$

- **Diámetro del sedimentador**

Partiendo de la ecuación 2-34 se calculó el diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4 * 11,94 \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}}$$

$$D = 3,89 \text{ (m)}$$

Para construcción se asumirá un diámetro de 4,00 m.

- **Radio del sedimentador**

Partiendo de la ecuación 2-35 se calculó el radio del sedimentador.

$$r = \frac{4,00 \text{ (m)}}{2}$$
$$r = 2,00 \text{ (m)}$$

- **Volumen del sedimentador**

Haciendo uso de la ecuación 2-36 se calculó el volumen. Se asume una altura de 3 m de acuerdo con los criterios de diseño indicados en la tabla 2-14.

$$V = 11,94 \text{ (m}^2\text{)} * 3,00 \text{ (m)}$$
$$V = 35,82 \text{ (m}^3\text{)}$$

- **Altura de la zona de lodos**

Haciendo uso de la ecuación 2-37 se calculó la altura de la zona de lodos. Se asume una pendiente del 5% .

$$hl = 0,05 * 3,00 \text{ (m)}$$
$$hl = 0,15 \text{ (m)}$$

- **Reparto central**

Utilizando la ecuación 2-38 y considerando que el 25% del diámetro corresponde al reparto central, se obtuvo el resultado del reparto central.

$$R_{central} = 4 \text{ (m)} * 0,25$$

$$R_{central} = 1 \text{ m}$$

- **Altura de reparto**

Se calculó a partir de la ecuación 2-39.

$$H_{reparto} = \frac{1}{4} * 3(m)$$

$$H_{reparto} = 0,75 \text{ m}$$

- **Cálculo de carga sobre el vertedero de salida**

Se calculó a partir de la ecuación 2-40.

$$C_{vertedero} = \frac{6,904 * 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right)}{\pi * 4}$$

$$C_{vertedero} = 47,454 \text{ m}^3 / (m * \text{día})$$

- **Cálculo de tiempo de retención hidráulica**

Haciendo uso de la ecuación 2-41 se calculó el tiempo de retención hidráulica.

$$Trh = \frac{35,82 (m^3)}{6,904 * 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right)}$$

$$Trh = 5188,29 (s) * \frac{1 (h)}{3600 (s)}$$

$$Trh = 1,44 \text{ h}$$

- **Disposición final de los lodos**

La forma de manejo y disposición final de los lodos producidos en la planta de tratamiento se llevará a cabo siguiendo las directrices establecidas por la autoridad sanitaria competente. En principio, se ha determinado que la opción más apropiada es su disposición en un relleno sanitario

autorizado, asegurando de esta manera el cumplimiento de las normas y regulaciones pertinentes en la materia.

No obstante, también se considerará la posibilidad de utilizar los lodos de manera beneficiosa, como fertilizante en cultivos agrícolas. En caso de optar por esta alternativa, será necesario realizar una caracterización exhaustiva de los lodos y establecer los parámetros adecuados para su uso. Esto implica evaluar su contenido de nutrientes y metales pesados, asegurando que cumplan con los estándares y requisitos establecidos.

En cuanto al mantenimiento de la planta de tratamiento en especial de los lodos, se seguirá el protocolo descrito en el Manual de Operación y Mantenimiento de la planta de aguas residuales (s.f., pp. 1-7). Según este documento, se llevará a cabo la limpieza y el retiro de los lodos de forma semanal, siempre y cuando presenten una humedad no superior al 85%. Esta medida garantiza que los lodos estén en condiciones óptimas para su disposición final y minimiza posibles impactos ambientales.

4.6.7. *Resumen del dimensionamiento de cada equipo*

Tabla 4-6: Dimensión del sistema de rejillas

Parámetro	Valor	Unidad
Área libre del paso del agua	0,012	m ²
Altura del tirante	0,024	M
Ancho	0,5	M
Altura del canal	0,20	M
Longitud de barras	0,30	M
Número de barras	11	M
Pérdida de carga	0,007	M

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Tabla 4-7: Dimensión del homogeneizador

Parámetro	Valor	Unidad
Área	11,95	m ²
Diámetro	3,9	M
Altura	1,5	M
Volumen	23,9	m ³

Mezclador

Diámetro impulsor	1,3	m-
Altura impulsor	1,3	M
Ancho paleta	0,26	M
Longitud palas	0,33	M
Longitud de palas montadas al disco central	0,17	m
Diámetro del disco central	0,33	M
Número de deflectores	4	-
Ancho de deflectores	0,13	M
Potencia	2,2	Hp

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Tabla 4-8: Dimensión del tanque coagulador-floculador

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	12,43	m ³
Diámetro de mezcla	2,40	M
Profundidad de la cámara de mezcla	3,00	M
Diámetro de turbina	0,8	M
Ancho de los deflectores	0,1	M
Dimensión de las paletas		
Longitud	0,20	M
Alto	0,20	M

Ancho	0,16	M
Diámetro del disco central	0,66	M
Altura del impulsor	0,8	M
Potencia	5	Hp
Velocidad de rotación	31,8	Rpm

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Tabla 4-9: Dimensión del sedimentador circular

Parámetro	Valor	Unidad
Área superficial	11,94	m ²
Diámetro	3,90	M
Radio	2,00	M
Volumen	35,82	m ³
Altura útil	3, 00	M
Altura de la zona de lodos	0,15	M
Reparto central	1	M
Altura de reparto	0,75	M
Tiempo de retención hidráulica	1,44	H

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

4.7. Rendimiento del proceso a nivel de laboratorio

Tabla 4-10: Comparación del agua residual con el agua tratada

Parámetros	Unidad	Criterio de calidad	Agua residual caracterizada	Agua residual tratada	% de Rendimiento
DBO5	mg/L	250	376,923	14,02	96%
DQO	mg/L	500	710,908	27,79	96%
Nitrógeno Total Kjedahl	mg/L	60	61,03	2,17	96%

Potencial de Hidrógeno		6-7	5,15	6,98	-
Sólidos sedimentables	mg/L	20	43	0,82	98%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	220	257,168	27,13	89%
Coliformes fecales	NMP/100	-	2214,500	Ausencia	Cumple
Coliformes totales	NMP/100	-	3172,500	Ausencia	Cumple

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

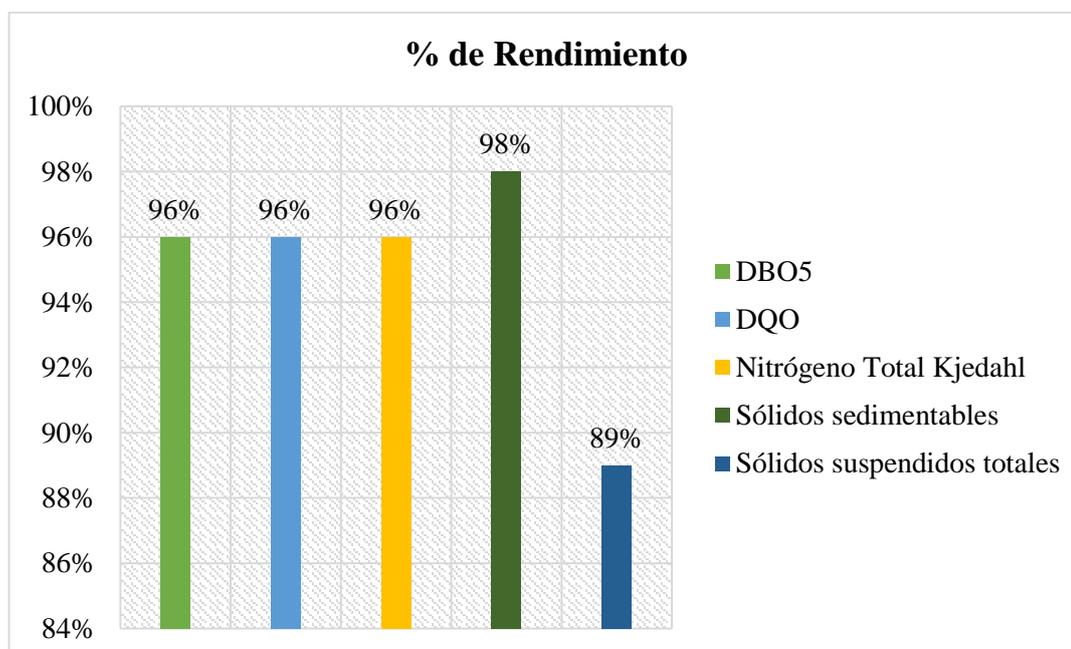


Ilustración 4-10: Porcentaje de rendimiento del tratamiento

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

En la tabla 4-10 se puede observar que al examinar el agua residual que se obtiene al finalizar los ensayos de tratamiento, los valores problemáticos se encuentran por debajo del límite máximo de la normativa ambiental vigente.

La ilustración 4-10 muestra que se obtuvo un porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos de 89%, de los sólidos sedimentables de 98%, de DQO de 96%, de DBO5 de 96%, de nitrógeno

total de 96%, además se verificó que el pH se estabilizó a un valor neutro, finalmente, aunque no se encontraba fuera de los límites, se verificó la ausencia de coliformes fecales y totales.

4.7.1. Carga contaminante del agua residual

Se realizó el cálculo de la carga contaminante del agua residual hospitalaria tanto antes como después del tratamiento del agua, utilizando la ecuación 10-3. Los resultados obtenidos se presentan de manera detallada en la tabla 4-11.

Tabla 4-11: Carga contaminante del agua residual y el agua tratada

Parámetros	Unidad	Agua residual caracterizada	Agua residual tratada
DBO5	Kg/semana	1344,98	48,03
DQO	Kg/semana	2536,75	95,20
Nitrógeno Total Kjeldahl	Kg/semana	217,77	7,43
Sólidos sedimentables	Kg/semana	153,44	2,87
Sólidos suspendidos totales	Kg/semana	917,66	86,16

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

Se logró una reducción significativa en los parámetros de carga contaminante del agua residual hospitalaria después del tratamiento. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) disminuyó de 1344,98 kg/semana a 48,03 kg/semana, indicando una eficiente remoción de materia orgánica. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se redujo de 2536,75 kg/semana a 95,20 kg/semana, demostrando la eliminación de sustancias químicas y compuestos orgánicos. El nitrógeno total Kjeldahl disminuyó de 217,77 kg/semana a 7,43 kg/semana, reflejando la efectividad en la remoción de compuestos nitrogenados. Los sólidos sedimentables disminuyeron de 153,44 kg/semana a 2,87 kg/semana, evitando obstrucciones en los sistemas de alcantarillado. Además, los sólidos suspendidos totales se redujeron de 917,66 kg/semana a 86,16 kg/semana, mejorando la claridad y calidad del agua tratada. Estos resultados demuestran el éxito del tratamiento en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua residual.

4.8. Presupuesto del proyecto

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el Hospital General Ambato beneficiará a la organización al permitirle proteger la vida y el medio ambiente y evitar el pago

de fuertes multas a las autoridades de control ambiental. Los costos aproximados de diseño y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales se muestran en la Tabla 12-4 a continuación.

Tabla 4-12: Presupuesto de la PTAR

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
REJILLAS				
Hormigón simple F ^o C=240 Kg/ cm ²	m ³	0,8	180	144
Limpieza y desbroce	m ²	20	8,5	170
Barras de acero	Unidades	11	9,68	106,48
Marco de hierro	m ²	1,5	2,5	3,75
Subtotal				424,23
HOMOGENEIZADOR				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	9	90,11	810,99
Hormigón simple F ^o C=240 Kg/ cm ²	m ³	11	180	1980,00
Enlucido con impermeabilizante	m ²	12	9,25	111,00
Malla electro soldada 10x10x6mm	m ²	13	4,68	60,84
Bombas sumergibles Inox	Unidades	2	300	600
Mezclador	Unidades	1	800	800
Subtotal				4262,83
TANQUE MEZACLADOR PARA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	10	90,10	901,10
Hormigón simple F ^o C=240 Kg/ cm ²	m ³	8	180	1440,00
Enlucido con impermeabilizante	m ²	8	9,5	76,00
Motor eléctrico 5 hp	Unidades	1	300	300,00
Subtotal				2717,1
SEDIMENTADOR CIRCULAR				
Replanteo y nivelación	m ²	13	4,2	54,60
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	10	90,11	901,1

Hormigón simple F' C=240 Kg/cm ²	m ³	35	180	6300
Enlucido con impermeabilizante	m ²	9	9,5	85,5
Subtotal				7341,2
OTROS GASTOS				
Accesorios varios	Unidades			1500
Técnicos responsables	Unidades	1	550	550
Operarios	Unidades	3	250	750
Subtotal				2300
PRECIO TOTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO				17045,36

Realizado por: Tibanlombo, Joel, 2023.

CONCLUSIONES

- Tras el análisis de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua residual hospitalaria, se encontró que varios parámetros superaron los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 8 del Anexo 1 del TULSMA. Los resultados revelaron valores preocupantes, como un pH de 5,15, una DBO5 de 376,923 mg/L, una DQO de 710,908 mg/L, un nitrógeno Kjeldahl total de 61,03 mg/L, sólidos sedimentables de 43 mg/L y sólidos suspendidos totales de 257,168 mg/L. Estos hallazgos claramente indican que el agua residual analizada presentaba una carga contaminante significativa. Por lo tanto, es esencial implementar medidas de tratamiento y control adecuadas para asegurar la calidad del agua y preservar el medio ambiente. En términos de carga contaminante, se identificaron los siguientes valores para los parámetros mencionados: DBO5 de 1344,98 kg/semana, DQO de 2536,75 kg/semana, Nitrógeno Total Kjeldahl de 217,77 kg/semana, Sólidos sedimentables de 153,44 kg/semana y Sólidos suspendidos totales de 917,66 kg/semana. Estos datos confirman la necesidad de abordar de manera urgente la gestión y tratamiento adecuados de las aguas residuales hospitalarias para mitigar su impacto negativo en el medio ambiente.
- El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital General Ambato se realizó mediante cálculos de ingeniería y criterios de diseño, incorporando distintos componentes como rejillas de limpieza manual, tanque de homogeneización, tanque de coagulación-floculación y un sedimentador convencional circular. Los ensayos de tratabilidad evidenciaron que la planta podría eliminar de manera efectiva el 89% de los sólidos en suspensión, el 98% de los sólidos sedimentables, el 96% de la DQO, el 96% de la DBO5 y el 96% del nitrógeno total. Además, los resultados de la carga contaminante posterior al tratamiento mostraron una disminución significativa, con valores de 48,03 kg/semana para la DBO5, 95,20 kg/semana para la DQO, 7,43 kg/semana para el nitrógeno total, 2,87 kg/semana para los sólidos sedimentables y 86,16 kg/semana para los sólidos suspendidos totales. Estos hallazgos confirman la viabilidad técnica del proyecto y su capacidad para lograr una alta eficiencia en la remoción de contaminantes.
- La inversión necesaria para la construcción de la planta de tratamiento se estima en aproximadamente 17,045.36 dólares, cubriendo tanto los costos de infraestructura como de ingeniería civil requeridos para su implementación.

RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar la propuesta de diseño de la planta de tratamiento de agua del Hospital General de Ambato para garantizar que las aguas residuales se encuentren de acuerdo con la legislación ambiental vigente.
- El Hospital General de Ambato debe realizar un estudio de impacto ambiental antes de construir e implementar su proyecto de planta de tratamiento de aguas residuales para desarrollar un plan de manejo que cumpla con las normas y reglamentos.
- La planta de tratamiento de aguas residuales requiere de un mantenimiento mensual, en especial en los procesos que generan sólidos y lodos residuales, ya que de lo contrario se produciría una acumulación que sería perjudicial para el funcionamiento del sistema de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALFÉRES, L. “Aguas residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado”. *Revista: Caribeña de Ciencias Sociales* [En línea], 2019, 1(1). Colombia. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html>

ALVARADO, E. *Manual de Medición de Caudales*. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático: Guatemala. 2018. p.4.

ANDRADE, M.; et al. “Diseño y cotización de una planta de tratamiento de aguas residuales para parroquias rurales del Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo-Ecuador”. *Conciencia Digital* [En línea], 2021, 4(2). pp. 198-214. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1659>

ANWAR. *Identification of sources of wastewater, its characterization and quantification in hospitals* [En línea].S.l: UPES.2019. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjc14a1qf3-AhW3I0QIHQTobtIQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fueppcb.uk.gov.in%2Ffiles%2FIdentification_of_Sources_of_Wastewater%2C_Its_Characterization_and_Quantification_in_Hospitals-July-2017.pdf&usg=AOvVaw3w7IW0geDQTQhNtcCPLI3r

BAIRES. Los parámetros más importantes en la caracterización del agua. *Baires analítica* [En línea]. 24 de abril 2020. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.bairesanalitica.com/los-parametros-mas-importantes-en-la-caracterizacion-del-agua--news--5-11#:~:text=En%20el%20agua%20un%20alto,más%20contaminada%20estará%20el%20agua.>

BORREGO, N.; et al. “Caracterización de aguas residuales hospitalarias en un hospital general de España”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Vol.37, n°3 (2021), pp. 717-730.

CEUPE. El agua. Sus características y propiedades [En línea]. 2018. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ceupe.com/blog/el-agua-sus-caracteristicas-y-propiedades.html>

CEVALLOS, M.; & MANOTO, J. Línea base para la propuesta técnica del mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del hospital básico de la parroquia Shell [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2019, pp. 1-98. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20493>

CHALAR, A. *Tratamiento y Reuso de aguas residuales*. S.l.: s.n. 2019. p.15

CHIMBOLEMA, F. Diseño de un sistema de tratamiento biológico para las aguas residuales recolectadas por el hidro succionador de la EP - EMAPAG del cantón Guaranda Riobamba [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-137. [Consulta: 18 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8983>

CO 10.07 – 602. *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.*

DANTAS, R.; et al. “Wastewater quality indicators in a public hospital in the city of Campina Grande, Paraíba, Brazil”. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, vol. 7, n°14 (2020), pp. 13743-13753.

ESPIGARES, M.; PÉREZ, J. *Aguas residuales. Composición*. S.l.: s.n. 2019. p.2

FERÁNDEZ, R. El deterioro de la calidad del agua reduce en un tercio el crecimiento económico en algunos países, según el Banco Mundial. [En línea] *Banco Mundial*. 2019. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/08/20/worsening-water-quality-reducing-economic-growth-by-a-third-in-some-countries>

FÚQUENE, D.; & YATE, A. “Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales”. *ECAPMA* [En línea], 2018, 2(1). p.7. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>

GIL, J. Propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la E.S.E hospital departamental universitario del Quindío San Juan De Dios. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Fundación Universidad De América, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. pp. 1-

104. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6761/1/6062043-2018-1-IQ.pdf>

GUAMÁN, J. Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa Ecuacauchos ubicada en el cantón Riobamba [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2021. pp. 1-142. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14992>

HACH. Sólidos (totales y disueltos) [En línea]. 2023. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: [https://es.hach.com/parameters/solids#:~:text=Los%20altos%20niveles%20de%20sólidos,de%20oxígeno%20disuelto%20\(OD\).](https://es.hach.com/parameters/solids#:~:text=Los%20altos%20niveles%20de%20sólidos,de%20oxígeno%20disuelto%20(OD).)

HERRERA, V. Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Moyolsa” de la ciudad de Ambato [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 1-124. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/13112/1/96T00554.pdf>

IDRICA. Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales [En línea]. 2020. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/>

IESS. *Plan Hospitalario de emergencias y desastres.* Ambato: Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social. 2020.

IESS. *Rendición de Cuentas 2021 del Hospital General de Ambato.* Ambato: Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social. 2021.

INEC. Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales [En línea]. 2021. [Consulta: 18 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Agua_potable_alcantarrillado_2021/PRESENTACION%20APA%202021_V7%20\(Rev.%20Dicos\).pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Agua_potable_alcantarrillado_2021/PRESENTACION%20APA%202021_V7%20(Rev.%20Dicos).pdf)

LANDER, R. El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergente. *I Agua* [En línea]. 2020. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriiguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de aguas residuales* [En línea]. S.l: s.n. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: https://sistemas.segeplan.gob.gt/share/SCHESINIP/PLANOS_DISENOS/184649-SNXZDXUPFL.pdf

MAJUMDER, A.; et al. “A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2”. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [En línea], 2020, 9(2), pp. 104812. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104812>

MELO, H. Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas por la industria de productos lácteos “El Toril”, ubicado en el cantón Mocha-provincia de Tungurahua [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-96. [Consulta: 13 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14106>

MESDAGINIA, A.; et al. “Water quality assessment of hospitals wastewater treatment plants effluents”. *Journal of Advances in Environmental Health Research* Vol. 38, n°1 (2019), pp. 34-40

METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización.* España : McGraw - Hill, 1995. Córdoba, 2018, pp. 81-82

NORMAS NEC-11. *Capítulo 16 norma hidrosanitaria NHE agua.*

NTE INEN 2 169:98. *Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.*

OLIVEIRA, K.; et al. “Analysis of the wastewater flow rate generated in a public hospital in northeastern Brazil”. *Revista de Saúde Pública*, n°54 (2020), p. 88.

OMS. Cambio Climático y Salud [En línea]. 2022. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>

PEÑA, R. Evaluación del funcionamiento de tratamiento de aguas servidas de la comunidad de canteras basado en humedales de flujo subsuperficial [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería. Chile. pp. 1-59. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3451/1/Peña_Almendras_Rocío_Vivian.pdf

PRIMICIAS. Solo el 3,5% de las aguas residuales en Quito recibe tratamiento [En línea]. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/primicias-tv/sociedad/quito-plantas-tratamiento-aguas-contaminadas/>

PURE AQUA. Eliminación de color en el agua. [En línea]. 2023. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://es.pureaqua.com/eliminacion-de-color-en-el-agua/>

QUINATO, R. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales y su reutilización en el proceso de lavado en la lavandería Splendid de la ciudad de Riobamba [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 1-103. [Consulta: 18 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14108>

RAMOS, C. “Aguas residuales generadas en hospitales”. Ingeniería hidráulica y ambiental, Vol. 29, n°. 2 (2008). pp. 56-60.

RAMMAL, M. *Comparison of different scenarios of suspended solids production in a combined sewer system using an adapted hydrodynamic model* [En línea]. S.l: HAL. 2016. [Consulta: 18 febrero 2023]. Disponible en: https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01617941/file/TH2016PESC1149_diffusion.pdf

RAS 2000. *Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico. Título E.*

RAS 2010. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título B.*

REINO, M. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, generadas en la planta procesadora de lácteos Lumilac, parroquia Licto-Riobamba [En línea]. (Trabajo de Titulación)

(Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 1-96. [Consulta: 13 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16696>

RODRÍGUEZ, J. et al. “Gestión ambiental en hospitales públicos: aspectos del manejo ambiental en Colombia”. *Revista de la Facultad de Medicina*, Vol. 64, n° 4 (2018), p. 94.

SARDÁ, R.; et al. "Optimizing the design of a flocculator tank using computational fluid dynamics." *Environmental Science and Pollution Research*. Vol.28, n°9 (2021), pp. 11096-11105.

SPENA. Tratamiento de aguas residuales para hospitales [En línea]. 2018. [Consulta: 25 febrero 2023]. Disponible en: <https://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-hospitales/>

TECNAL. DQO vs DBO. [En línea]. 2021. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: https://tecnal.com.br/es/blog/215_dqo_vs_dbo

TULSMA. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I. Tabla 9. Acuerdo ministerial 097-A, 2015.*

USGS. Los efectos de la urbanización y la agricultura en la calidad del agua: Nitrógeno. [En línea]. 2019. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: <https://water.usgs.gov/gotita/urbannitrogen.html#:~:text=El%20nitrógeno%20en%20exceso%20puede,llega%20hasta%20las%20aguas%20profundas.>

VALDEZ, S. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia “Vuelta Larga” del cantón Esmeraldas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-163. [Consulta: 18 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8609>

VASCO, D. Diseño de la planta de tratamiento de agua potable para la parroquia la victoria, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-131. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17606>

WATERTECH. Cómo tratar las aguas residuales del hospital mediante electrocoagulación [En línea]. 2019. [Consulta: 27 febrero 2023]. Disponible en: <https://es.genesiswatertech.com/blog-post/hospital-wastewater-treatment-through-electrocoagulation/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum.* S.l: WHO. 2017.

ZENIT. Mixer ZM Sistemas de mezcla de alta eficiencia. *Zenit* [En línea]. 2022. [Consulta: 3 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.zenit.com/es-ES/Productos/Sistemas-de-mezcla/Mezcladores/Mixer-ZM>

ANEXOS

ANEXO A: LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Acetes y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos 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
Cromo	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroforno	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
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 (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	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
Manganeso 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		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 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

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA



INFORME DE ENSAYO No. 120 e					
Solicitado por:		Sr. Joel Tibanlombo			
Dirección:		Ambato			
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:		7/11/2022 (15H00)		Fecha final de Análisis: 7-14/11/2022	
Muestreo:		Sr. Joel Tibanlombo		Fecha y Hora: 7/11/2022 (10H00)	
Condiciones ambientales de análisis:			T máx: 18°C		T mín: 13°C
Procedencia: Descargas de Agua Residual Hospital General Ambato (M1)					
Resultados					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	42,28	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,009	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	4,16	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	2,56	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	3,91	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,008	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	1,34	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,009	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	745,93	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,008	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	55,00	± 22
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,19	± 25
DQO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	672,96	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	341,08	± 28
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,38	± 11
Coliformes Fecales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	2500	
Coliformes Totales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	3200	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	5,96	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	12,65	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	14,67	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	2,58	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,008	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	59,53	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	2,64	± 29
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	0,98	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,008	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,007	± 29
Potencial de hidrógeno	.....	AN-EMAPAG-26	6,9	5,63	
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	258,36	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	100,2	± 16
Sólidos Sedimentables (SD)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	25,00	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	44,00	± 31
Temperatura	° C	AN-EMAPAG-31	± 3	16,99	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	1,65	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	1,93	± 5
FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público					
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.					
Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P - EMAPA-G					
Ing. Quím. Raúl Allán TÉCNICO LABORATORIO					

Dirección: García Moreno y 7 de Mayo Teléfonos: 03 2550 537 / 550 539 / 550 540 / 550 541

INFORME DE ENSAYO No. 121 e

Solicitado por:	Sr. Joel Tibanlombo				
Dirección:	Ambato				
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	14/11/2022 (14H00)	Fecha final de Análisis:	14-21/11/2022		
Muestreo:	Sr. Joel Tibanlombo		Fecha y Hora:	7/11/2022 (08H00)	
Condiciones ambientales de análisis:			T máx: 18°C	T mín: 13°C	
Procedencia: Descargas de Agua Residual Hospital General Ambato (M2)					
Resultados					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	43,27	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,009	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	6,25	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	10,96	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	4,93	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,009	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	4,970	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,009	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	1105	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,009	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	100,00	± 22
Cromo (Cr ¹⁶)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,23	± 25
DQO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	1240,00	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	682,69	± 28
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,40	± 11
Coliformes Fecales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	5000	
Coliformes Totales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	7020	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	7,64	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	13,67	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	20,69	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	5,96	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,009	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	96,00	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	1,97	± 29
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	0,99	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,009	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,008	± 29
Potencial de hidrógeno	.....	AN-EMAPAG-26	6-9	4,56	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	327,29	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	2022,00	± 16
Sólidos Sedimentables (SD)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	74,00	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	50,00	± 31
Temperatura	* C	AN-EMAPAG-31	± 3	16,99	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	1,71	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	1,94	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G

Ing. Quím. Raúl Allán
 TÉCNICO LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO No. 122 e

Solicitado por:	Sr. Joel Tibanlombo				
Dirección:	Ambato				
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	21/11/2022 (17H30)	Fecha final de Análisis:	21-28/11/2022		
Muestreo:	Sr. Joel Tibanlombo		Fecha y Hora:	21/11/2022 (14H00)	
Condiciones ambientales de análisis:			T máx: 18°C	T mín: 13°C	
Procedencia: Descargas de Agua Residual Hospital General Ambato (M3)					
Resultados					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permissible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	25,00	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,007	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	1,96	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	8,64	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	2,36	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,007	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	3,67	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,008	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	843,07	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,007	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,005	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	45,00	± 22
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,21	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	685,04	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	373,64	± 28
Estahio (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,25	± 11
Coliformes Fecales	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	1300	
Coliformes Totales	Col/100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	2400	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	6,27	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	12,34	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	16,68	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	3,67	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,008	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	52,63	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	0,93	± 29
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	0,91	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,006	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,007	± 29
Potencial de hidrógeno	.....	AN-EMAPAG-26	6-9	4,93	
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	358,02	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	943,17	± 16
Sólidos Sedimentables (SD)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	58,00	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	45,00	± 31
Temperatura	° C	AN-EMAPAG-31	± 3	16,99	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	0,74	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,93	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G

Ing. Quím. Raúl Allán
TÉCNICO LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO No. 123 e

Solicitado por:	Sr. Joel Tibanlombo				
Dirección:	Ambato				
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	22/11/2022 (17H30)	Fecha final de Análisis:	22-30/11/2022		
Muestreo:	Sr. Joel Tibanlombo		Fecha y Hora:	21/11/2022 (16H00)	
Condiciones ambientales de análisis:			T máx: 18°C	T min: 13°C	
Procedencia:	Descargas de Agua Residual Hospital General Ambato (M4)				
Resultados					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	5,85	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,007	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	1,93	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	3,68	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	2,08	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,006	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53		1,84	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,006	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	250,61	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,005	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,005	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	20,00	± 22
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,14	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	245,63	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	110,28	± 28
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,16	± 11
Coliformes Fecales	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	58	
Coliformes Totales	Col/100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	70	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	4,93	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	20,68	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	11,34	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	2,96	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	35,96	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	0,59	± 29
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	0,85	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,007	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,006	± 29
Potencial de hidrógeno	.....	AN-EMAPAG-26	6-9	5,48	
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	85,00	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	850,00	± 16
Sólidos Sedimentables (SD)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	15,00	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	40,00	± 31
Temperatura	° C	AN-EMAPAG-31	± 3	16,99	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	30,00	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,94	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G

Ing. Quím. Raúl Allán
 TÉCNICO LABORATORIO

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA



INFORME DE ENSAYO No. 145 e					
Solicitado por:		Sr. Joel Tinbanlombo			
Dirección:		Ambato			
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:		10/12/2022 (15H00)	Fecha final de Análisis:		10 - 18/12/2022
Muestreo:		Sr. Joel Tinbanlombo		Fecha y Hora:	
				10/12/2022 (07H15)	
Condiciones ambientales de análisis:			T máx: 18 °C		T mín: 13 °C
Procedencia: Agua Residual Tratada Hospital General Ambato (M1)					
Coordenadas:					
Resultados					
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	8,36	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-01	.....	0,005	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	0,75	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	0,42	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	0,16	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,007	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	0,19	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,006	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	0,005	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,007	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,006	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	5	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,22	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	26,39	± 28
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	13,05	± 16
Estano (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,21	± 11
Coliformes Fecales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	Ausencia	
Coliformes Totales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	Ausencia	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	0,29	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	1,98	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	3,35	± 16
Manganeso (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	1,27	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0		± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	2,18	± 25
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	1,16	± 29
Oxigeno Disuelto	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	7,02	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,005	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,006	± 29
Potencial Hidrogeno	.....	AN-EMAPAG-26	6 - 9	6,97	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	28,64	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	18,64	± 16
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	0,79	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	1	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	±3	15,87	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	0,33	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,49	± 5
Fuente: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público.					
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.					
Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G					
Ing. Quím. Raúl Allán TÉCNICO LABORATORIO					

Dirección: García Moreno y 7 de Mayo **Teléfonos:** 03 2550 537 / 550 539 / 550 540 / 550 541

INFORME DE ENSAYO No. 146 e

Solicitado por:	Sr. Joel Tinbanlombo		
Dirección:	Ambato		
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	10/12/2022 (15H00)	Fecha final de Análisis:	10 - 18/12/2022
Muestreo:	Sr. Joel Tinbanlombo	Fecha y Hora:	10/12/2022 (07H30)

Condiciones ambientales de análisis:	T máx: 18 °C	T mín: 13 °C
--------------------------------------	--------------	--------------

Procedencia: Agua Residual Tratada Hospital General Ambato (M2)

Coordenadas:

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permissible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	6,93	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-01	.....	0,006	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	0,72	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	0,39	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	0,21	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,006	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	0,22	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,005	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	0,007	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,005	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	5	± 22
Cromo (Cr ⁶)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,19	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	30,58	± 28
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	15,06	± 16
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,19	± 11
Coliformes Fecales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	Ausencia	
Coliformes Totales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	Ausencia	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	0,28	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	1,45	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	2,64	± 16
Manganeso (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	1,05	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	2,14	± 25
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	0,96	± 29
Oxigeno Disuelto	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	6,67	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,006	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,006	± 29
Potencial Hidrogeno	.....	AN-EMAPAG-26	6 - 9	7,01	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	26,37	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	19,24	± 16
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	0,83	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	2	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	±3	15,94	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	0,35	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,33	± 5

Fuente: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G

Ing. Quím. Raúl Allán
TÉCNICO LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO No. 147 e

Solicitado por: Sr. Joel Tinbanlombo
 Dirección: Ambato

Fecha y hora que ingresa al laboratorio: 10/12/2022 (15H00) Fecha final de Análisis: 10 - 18/12/2022
 Muestreo: Sr. Joel Tinbanlombo Fecha y Hora: 10/12/2022 (07H45)

Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18 °C T mín: 13 °C

Procedencia: Agua Residual Tratada Hospital General Ambato (M3)

Coordenadas:

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	7,06	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-01	.....	0,007	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	0,65	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	0,33	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	0,19	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,007	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	0,21	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,006	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	0,008	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,007	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,006	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	5	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,20	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	32,68	± 28
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	16,02	± 16
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,21	± 11
Coliformes Fecales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	Ausencia	
Coliformes Totales	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	Ausencia	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	0,27	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	1,15	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	2,54	± 16
Manganeso (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	1,06	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,005	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	2,012	± 25
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	0,85	± 29
Oxigeno Disuelto	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	6,74	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,005	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,007	± 29
Potencial Hidrogeno	.....	AN-EMAPAG-26	6.- 9	6,98	
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	22,39	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	18,34	± 16
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	0,74	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	1	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	±3	1,84	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	0,41	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,36	± 5

Fuente: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G

Ing. Quim. Raúl Allán
TÉCNICO LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO No. 148 e

Solicitado por:	Sr. Joel Tinbanlombo				
Dirección:	Ambato				
Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	10/12/2022 (15H00)	Fecha final de Análisis:	10 - 18/12/2022		
Muestreo:	Sr. Joel Tinbanlombo		Fecha y Hora:	10/12/2022 (08H00)	

Condiciones ambientales de análisis:	T máx: 18 °C	T min: 13 °C
--------------------------------------	--------------	--------------

Procedencia: Agua Residual Tratada Hospital General Ambato (M4)

Coordenadas:

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	70,00	6,97	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-01	.....	0,006	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	.....	0,59	± 0,05
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-56	.....	0,36	
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	.....	0,24	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,006	
Carbonatos (CO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-53	.....	0,22	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	1,0	0,007	± 29
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	0,008	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,008	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	.....	5	± 22
Cromo (Cr ⁶)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,18	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	500	34,28	± 28
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	250	17,25	± 16
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	.....	0,18	± 11
Coliformes Fecales	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15	.....	Ausencia	
Coliformes Totales	Col/100 mL	AN-EMAPAG-9	.....	Ausencia	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	.....	0,22	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	15,00	1,12	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	25,00	2,36	± 16
Manganeso (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	10,00	0,96	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	60,0	2,15	± 25
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	.....	0,64	± 29
Oxigeno Disuelto	mg/L	AN-EMAPAG-38	.....	6,85	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,5	0,006	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,5	0,008	± 29
Potencial Hidrogeno	.....	AN-EMAPAG-26	6 - 9	7,02	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-57	220	21,34	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	17,26	± 16
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-50	20	0,69	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	400	1	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	±3	1,65	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	2,0	0,39	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,33	± 5

Fuente: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 8. Descarga Sistema Alcantarillado Público

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.

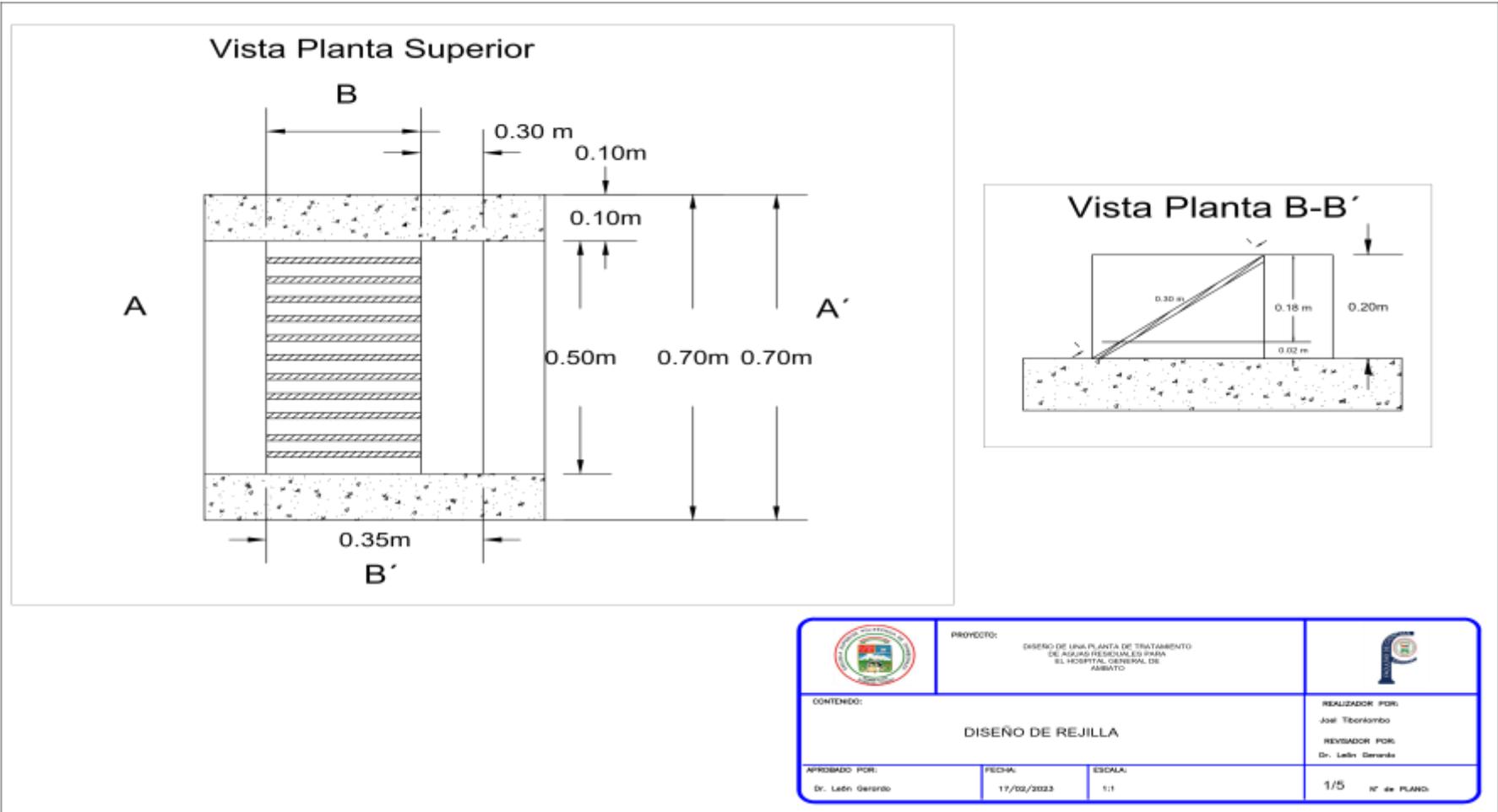
Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPA-G

Ing. Quím. Raúl Allán
 TÉCNICO LABORATORIO

ANEXO D: PARTE EXPERIMENTAL

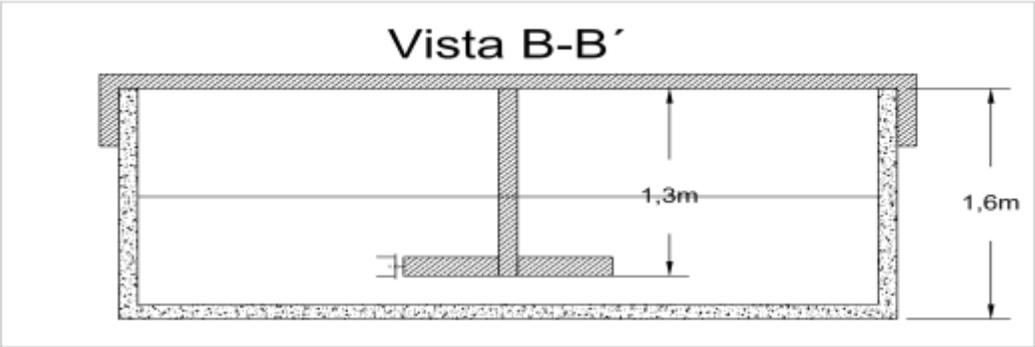
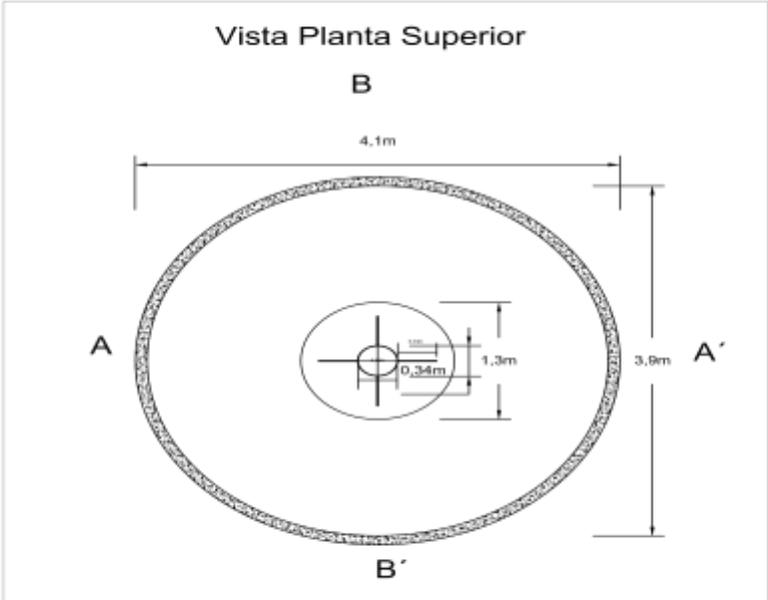


ANEXO E: PLANO REJILLAS



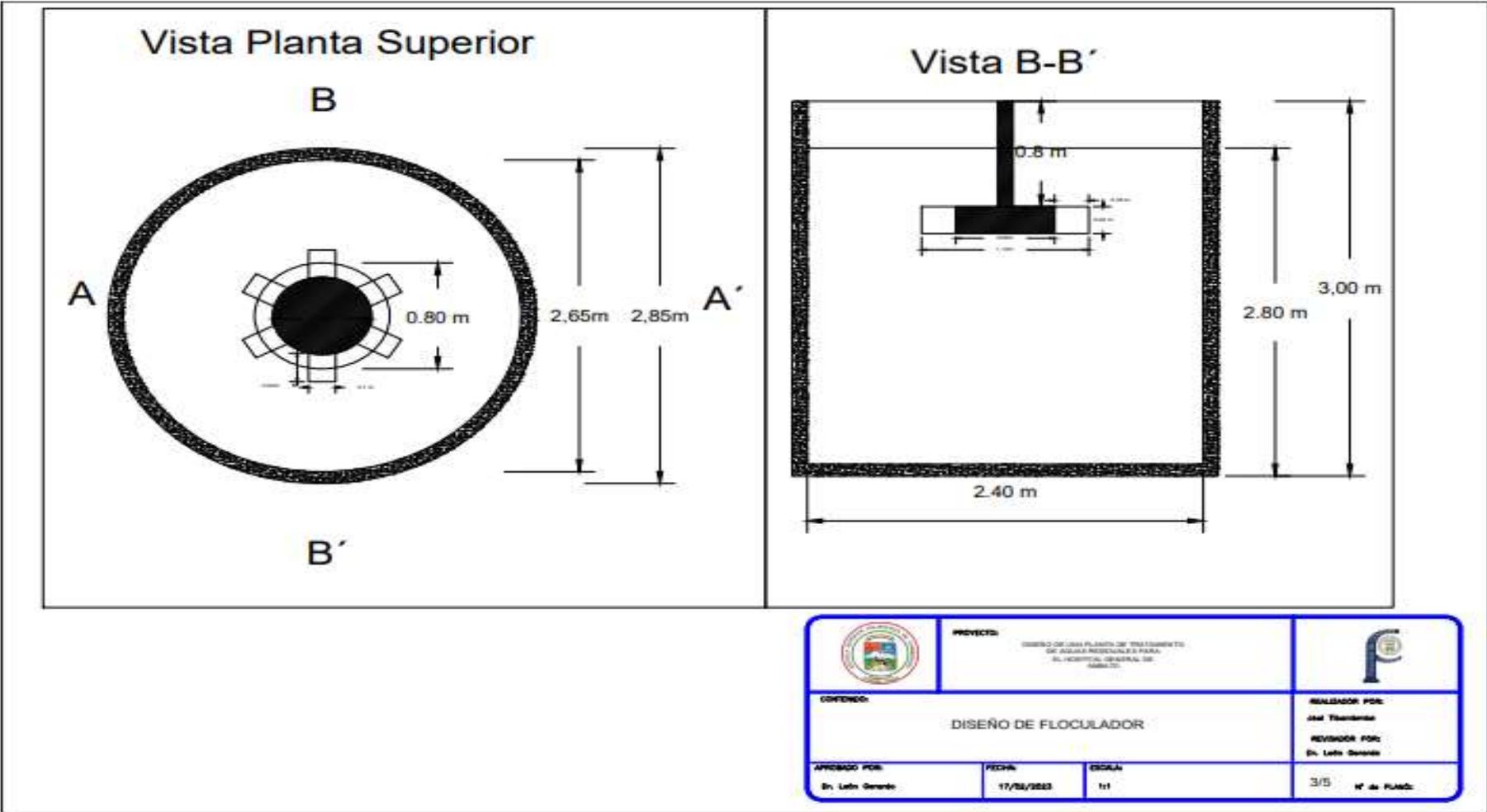
	<p>PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL HOSPITAL GENERAL DE AMBATO</p>	
<p>CONTENIDO: DISEÑO DE REJILLA</p>		<p>REALIZADOR POR: José Tiberiámba REVISADOR POR: Dr. León Gerardo</p>
<p>APROBADO POR: Dr. León Gerardo</p>	<p>FECHA: 17/02/2023</p>	<p>ESCALA: 1:1 1/5 Nº de PLANO</p>

ANEXO F: PLANO HOMOGENEIZADOR

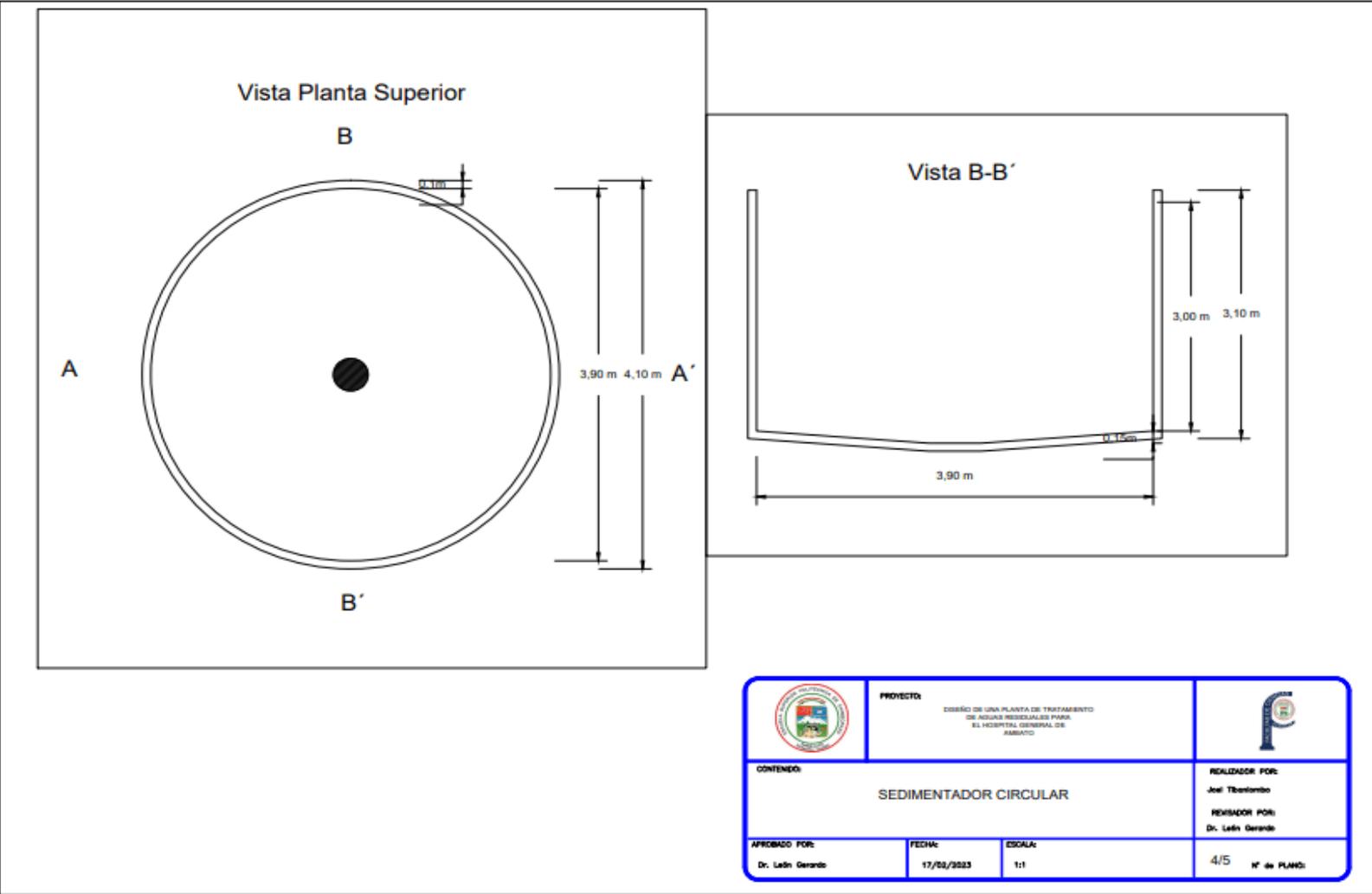


	<p>PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL HOSPITAL GENERAL DE AMBATO</p>	
<p>CONTENIDO: DISEÑO DE HOMOGENEIZADOR</p>		<p>REALIZADOR POR: Joel Tibarcoro</p> <p>REVISADOR POR: Dr. León Gerardo</p>
<p>APROBADO POR: Dr. León Gerardo</p>	<p>FECHA: 17/02/2023</p>	<p>ESCALA: 1:1</p>
		<p>2/5 N° de PLANO:</p>

ANEXO G: PLANO TANQUE COAGULADOR-FLOCULADOR

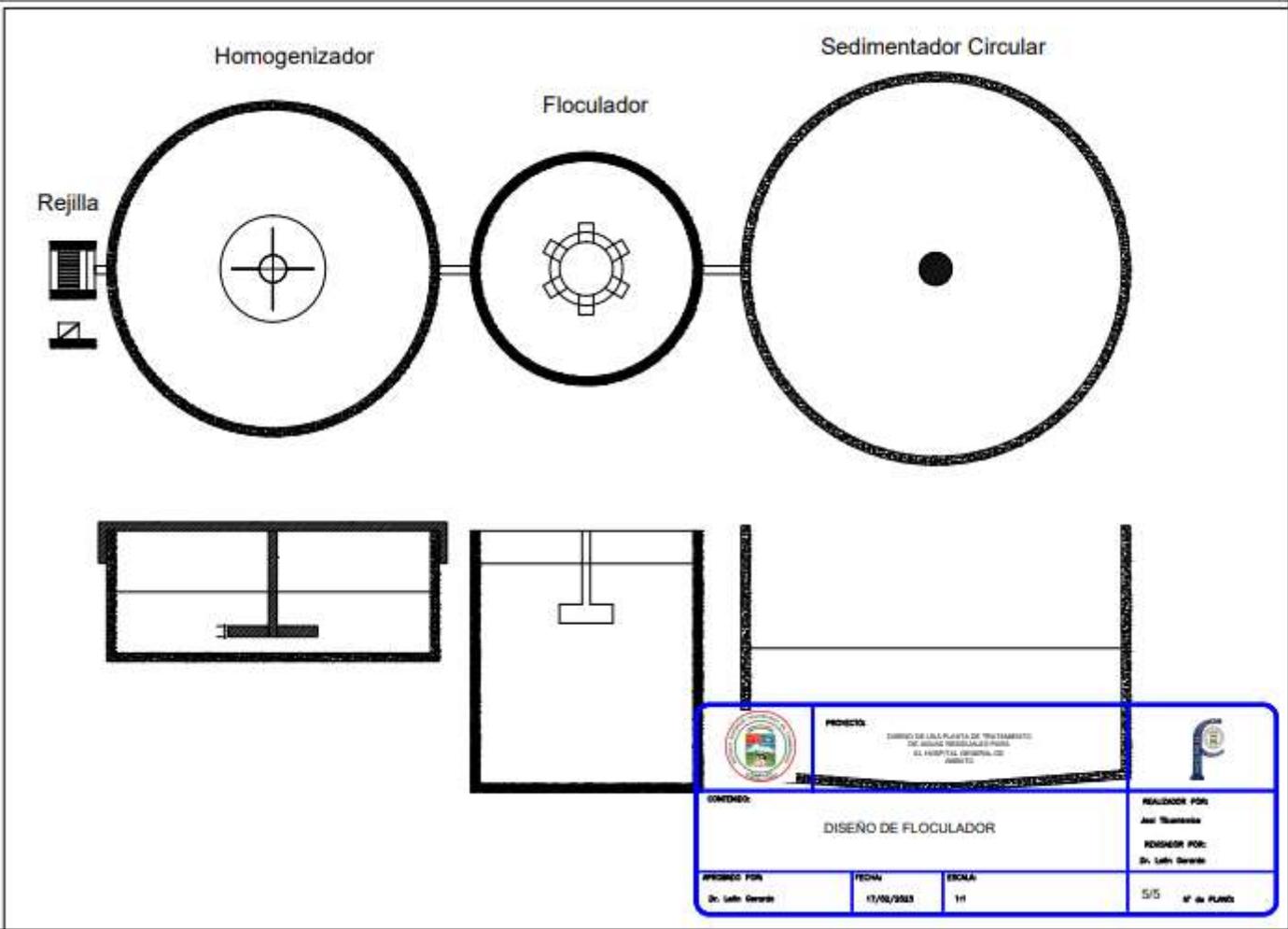


ANEXO H: PLANO SEDIMENTADOR

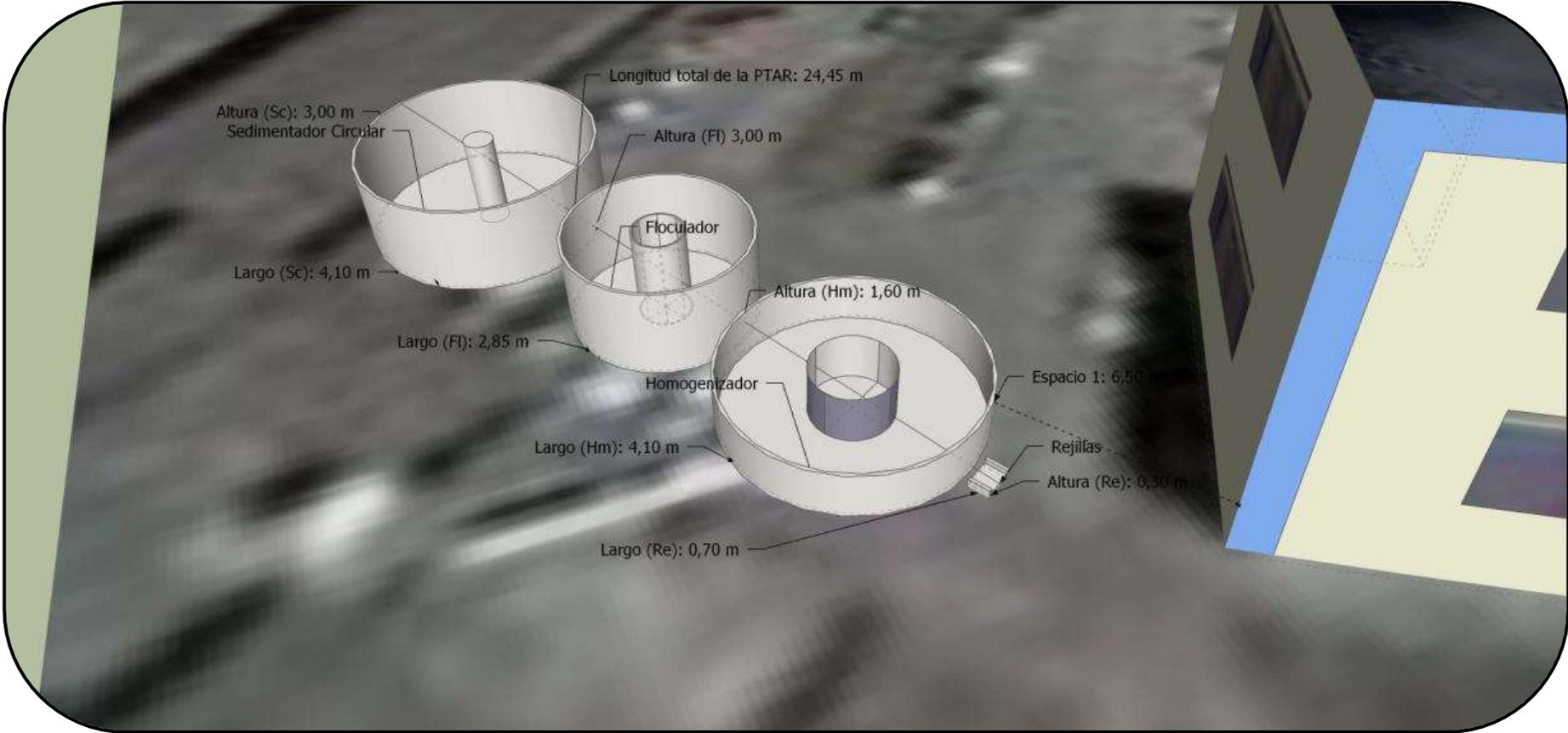


	<p>PROYECTO: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL HOSPITAL GENERAL DE JAMBATÓ</p>	
<p>CONTENIDO: SEDIMENTADOR CIRCULAR</p>		<p>REALIZADOR POR: Joel Tibertonbo REVISADOR POR: Dr. León Gerardo</p>
<p>APROBADO POR: Dr. León Gerardo</p>	<p>FECHA: 17/09/2023</p>	<p>ESCALA: 1:1</p>
		<p>4/5 Nº de PLANO:</p>

ANEXO I: PLANO SISTEMA DE TRATAMIENTO



ANEXO J: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL





esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 /01 /2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Byron Joel Tibanlombo Chisag
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1729-DBRA-UPT-2023

