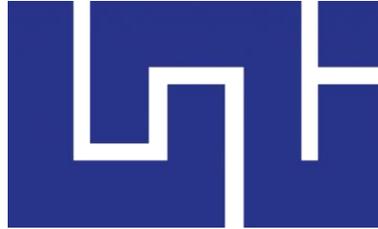


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS
DESECHOS LÍQUIDOS DEL HOSPITAL PRIMARIO NILDA
PATRICIA VELASCO DE ZEDILLO DEL MUNICIPIO DE CIUDAD
SANDINO**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

**Br. Kaled Ilmar Chacón Colindres
Br. Kisbeld Aylin Peralta González**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR:

PhD. MSc. Ing. Indiana García

Managua, Nicaragua
Agosto de 2019

DEDICATORIA

A mi familia por su trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Kisbeld Aylin Peralta González

Este trabajo se lo dedico a mi abuela Modesta Mairena por ser el principal pilar en mi vida y a mis padres por darme el aliento para seguir adelante y cumplir mis metas.

Kaled Ilmar Chacón Colindres

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme fuerzas y permitirme llegar hasta aquí, de manera especial a mi familia por ser incondicional, a mi tutora y docente PhD. Indiana García por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de esta profesión y orientarnos con paciencia y rectitud. A mi compañero Kaled Chacón por acompañarme con perseverancia en este trayecto, finalmente a mis amigos, vecinos y aquellas personas que contribuyeron con su apoyo y extendieron su mano cuando más los necesité.

Kisbeld Aylin Peralta González

Primeramente, le agradezco a Dios por todo lo que me ha permitido hacer ya que sin el nada es posible. Gracias a mi familia por sus buenos consejos y a mi madre por estar siempre para mí en todo momento y situación. Le agradezco infinitamente a mi profesora y tutora PhD. Indiana García por acompañarme en este camino y por ser mi principal ejemplo a seguir. A mi compañera Kisbeld Peralta por permitirme culminar esta etapa con su ayuda y a mis amigos y compañeros por brindarme su cariño y apoyo. Muchas a gracias.

Kaled Ilmar Chacón Colindres

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA

El trabajo de diploma de los estudiantes Kisbeld Aylin Peralta González y Kaled Ilmar Chacón Colindres, tiene como título:

“Diseño de un Sistema de Tratamiento para los Desechos Líquidos del Hospital Primario Nilda Patricia Velasco de Zedillo del Municipio de Ciudad Sandino”

Para el desarrollo de este tema, los estudiantes realizaron una revisión bibliográfica exhaustiva sobre los vertidos hospitalarios, se entrevistaron con la directora del hospital, realizaron visitas de reconocimiento del lugar para poder conocer las líneas de aguas grises y negras, efectuaron tres muestreos de 8 horas cada uno, cuantificaron el caudal generado, midieron parámetros de calidad en el sitio y en el laboratorio de la facultad. Con la información y usando el marco teórico, elaboraron el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales, un manual de operación y mantenimiento, el plan de gestión ambiental, así como los planos constructivos.

Ambos estudiantes demostraron que son personas muy responsables, disciplinadas y con espíritu investigativo.

Me despido atentamente,



PhD. MSc. Ing. Indiana A. García G.
Tutora del Trabajo Monográfico

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de tesis fue el de seleccionar y elaborar una propuesta de tratamiento para los desechos líquidos generados por el Hospital Primario Nilda Patricia Velasco de Zedillo ubicado en el municipio de Ciudad Sandino, a fin de poder obtener un agua tratada apta para el vertido hacia un cuerpo de agua receptor o hacia el alcantarillado sanitario del municipio, con parámetros de calidad por debajo de los valores permisibles establecidos tanto en la legislación nacional como en las internacionales.

Primeramente, se realizó la determinación del caudal total a ser tratado y la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual. Seguido de esto se compararon los resultados obtenidos con los valores máximos permisibles establecidos en las legislaciones y se definieron aquellos parámetros que incumplían las normas. Esta información fue de gran utilidad para la selección del tipo de tratamiento a emplear y las unidades de las que constará.

Una vez seleccionado el tren de tratamiento, se procedió a realizar el diseño y dimensionamiento de cada unidad del sistema propuesto, la cantidad de lodos producidos y el balance de contaminantes por etapa de tratamiento. El sistema quedó compuesto por una rejilla para la retención de sólidos gruesos, un sedimentador primario, un tanque de aireación donde se llevará a cabo el proceso de lodos activados utilizando paneles solares, un sedimentador secundario y un tanque de dosificación de claro a través de una solución de hipoclorito de sodio para la desinfección del efluente de salida.

Finalmente, luego de haber obtenido el número de unidades de tratamiento necesarias, el diseño y dimensionamiento de cada una de ellas, se procedió a comparar los valores de calidad del efluente de salida con los valores máximos permisibles, con lo que se pudo observar una alta remoción de cada uno de ellos tras el tratamiento, concluyendo así en que el sistema propuesto fue altamente eficiente y que el agua tratada contiene cargas mínimas de contaminantes, lo cual permite que sea vertida en el alcantarillado sanitario o reutilizada de cierta manera en el mismo Hospital sin altos riesgos a la salud humana.

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo General	3
2.2	Objetivos Específicos	3
III.	MARCO DE REFERENCIA.....	4
3.1	Contaminación Hídrica	4
3.2	Efectos de las Aguas Residuales Hospitalarias	5
3.3	Residuos Sanitarios, Definición y Características	7
3.4	Caracterización de los Efluentes Hospitalarios	9
3.4.1	Características físico-químicas	10
3.4.2	Características bacteriológicas	15
3.5	Tratamiento In Situ de Aguas Residuales	17
3.5.1	Pretratamiento	18
3.5.2	Tratamiento primario.....	20
3.5.3	Tratamiento secundario	22
3.5.4	Tratamiento terciario	24
3.5.5	Desinfección de aguas residuales	25
3.5.6	Eliminación de lodo.....	25
3.5.7	Tecnologías emergentes	26
3.5.8	Reutilización de aguas residuales y lodos	27
3.5.9	Tratamiento externo.....	27
3.6	Legislaciones para Aguas Residuales.....	28
3.6.1	Legislación nicaragüense para aguas residuales hospitalarias	28
3.6.2	Legislación de Costa Rica	28
3.6.3	Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EEUU (EPA) ...	31
3.6.4	Legislación española para aguas residuales	32
IV.	HOSPITAL NILDA PATRICIA VELASCO	34

4.1	Gestión actual de las aguas residuales	35
V.	METODOLOGÍA	36
5.1	Tipo de Estudio	36
5.2	Universo	36
5.3	Población.....	37
5.4	Determinación del Caudal a ser Tratado.....	37
5.4.1	Método volumétrico.....	38
5.5	Caracterización de los Efluentes Hospitalarios	38
5.6	Diseño y Selección del Tipo de Tratamiento	43
5.7	Balance de Contaminantes	44
5.8	Recomendaciones de Gestión Ambiental.....	46
5.9	Certitud Metódica	47
VI.	RESULTADOS.....	50
6.1	Cuantificación del Caudal Total.....	50
6.2	Caracterización del Agua Residual Hospitalaria.....	51
6.3	Propuesta de Tratamiento	56
6.3.1	Etapas y unidades de tratamiento.....	56
6.4	Balance de Contaminantes	63
6.5	Recomendaciones de Gestión Ambiental.....	66
VII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
7.1	Cuantificación del Caudal Total.....	68
7.1.1	Caudal de diseño	70
7.2	Caracterización del Agua Residual Hospitalaria.....	70
7.2.1	Caracterización física de los efluentes.....	71
7.2.2	Caracterización química de los efluentes	75
7.2.3	Caracterización microbiológica de los efluentes	79
7.3	Propuesta de Tratamiento	81
7.3.1	Pretratamiento	82
7.3.2	Tratamiento primario.....	82
7.3.3	Tratamiento secundario	83

7.3.4	Desinfección	83
7.3.5	Tratamiento de lodos	84
7.4	Balance de Contaminantes	86
7.5	Plan de Operación y Mantenimiento	86
7.6	Recomendaciones de Gestión Ambiental.....	87
7.6.1	Evaluación de las medidas de reducción.....	89
VIII.	CONCLUSIONES	90
IX.	RECOMENDACIONES	91
X.	BIBLIOGRAFÍA	92
	ANEXO A: DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	95
	ANEXO B: DATOS DE MUESTREO	123
	ANEXO C: MEMORIA DE CÁLCULO	124
	ANEXO D: BALANCE DE CONTAMINANTES.....	167
	ANEXO E: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	173
	ANEXO F: UNIDADES DEL TRATAMIENTO.....	192

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de residuos sanitarios.....	8
Tabla 2: Parámetros característicos de los efluentes hospitalarios.....	16
Tabla 3: Legislación nicaragüense para efluentes hospitalarios.....	28
Tabla 4: Parámetros complementarios para análisis de aguas residuales.....	29
de tipo especial.....	
Tabla 5: Límites máximos permisibles de aguas residuales vertidas en un	30
cuerpo receptor.....	
Tabla 6: Límites permisibles de parámetros complementarios de.....	30
aguas residuales.....	
Tabla 7: Limitaciones y directrices del grado de reducción de los efluentes	31
Tabla 8: Valores máximos instantáneos.....	32
Tabla 9: Parámetros y métodos de análisis.....	41
Tabla 10: Valores máximos permisibles.....	45
Tabla 11: Certitud metódica.....	47
Tabla 12: Valores de caudales obtenidos, línea 1.....	50
Tabla 13: Valores de caudales obtenidos, línea 2.....	51
Tabla 14: Resultados de análisis, línea 1.....	52
Tabla 15: Resultados de análisis, línea 2.....	53
Tabla 16: Comparación de datos de calidad con valores máximos permisibles.....	
Tabla 17: Porcentajes de remoción de cada parámetro.....	55
Tabla 18: Características del cajón de entrada.....	57
Tabla 19: Características del canal de entrada.....	57
Tabla 20: Características de la rejilla.....	58
Tabla 21: Características del sedimentador primario.....	58
Tabla 22: Características del tanque de aireación.....	59
Tabla 23: Características del sedimentador secundario.....	60
Tabla 24: Características del tanque de cloración.....	60
Tabla 25: Lodos totales producidos.....	61
Tabla 26: Características del espesador por gravedad.....	61

Tabla 27: Características del digestor anaerobio	62
Tabla 28: Características de las eras de secado.....	62
Tabla 29: Remociones en la sedimentación primaria	63
Tabla 30: Remociones en los lodos activados	64
Tabla 31: Remociones en la desinfección	64
Tabla 32: Balance de contaminantes por etapa del proceso	65
Tabla 33: Identificación de aspectos generales.....	66
Tabla 34: Descripción de las instalaciones de agua.....	67
Tabla 35: Caudal de diseño.....	70
Tabla 36: Análisis de DBO ₅	75
Tabla 37: Análisis de DQO	76
Tabla 38: Límites máximos permisibles de metales en biosólidos	85
Tabla 39: Límites máximos permisibles de concentraciones microbiológicos	85
Tabla 40: Evaluación de las medidas de reducción del consumo de agua	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Muertes debido a sistemas inadecuados de agua y saneamiento 6 por cada 1000 habitantes	6
Figura 2: Composición típica de residuos en instalaciones de atención médica .. 7	7
Figura 3: Tanque séptico	21
Figura 4: Tanque Imhoff	21
Figura 5: Sistema de lodos activados	22
Figura 6: Filtros percoladores	23
Figura 7: Filtro anaerobio	24
Figura 8: Sistema básico de tratamiento de aguas residuales hospitalarias 26	26
Figura 9: Línea 1	37
Figura 10: Línea 2	37
Figura 11: Esquema de muestreo	39
Figura 12: Tren de tratamiento	56
Figura 13: Comportamiento del caudal, línea 1	69
Figura 14: Comportamiento del caudal, línea 2.....	69
Figura 15: Comportamiento del color	72
Figura 16: Comportamiento de la temperatura	72
Figura 17: Comportamiento de pH	73
Figura 18: Comportamiento de los sólidos suspendidos totales.....	74
Figura 19: Comportamiento de sólidos sedimentables	74
Figura 20: Comportamiento de DBO ₅	75
Figura 21: Comportamiento de DQO.....	76
Figura 22: Comportamiento de grasas y aceites	77
Figura 23: Comportamiento de las sustancias activas al azul de metileno..... 78	78
Figura 24: Comportamiento de nitrógeno total	78
Figura 25: Comportamiento de fósforo total	79
Figura 26: Comportamiento de coliformes termotolerantes	80
Figura 27: Comportamiento de coliformes totales	80
Figura 28: Ubicación física de la planta	81

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son todas aquellas aguas cuya calidad ha sido modificada por actividades humanas, incluyendo los residuos líquidos que se descargan de hogares, sectores agrícolas, industriales, farmacéuticos y hospitales.

En los hospitales, se consume agua en varios lugares, como áreas de hospitalización, áreas de cirugía, laboratorios, unidades administrativas, lavanderías y cocinas. Los efluentes productos de estas actividades en comparación con las aguas residuales urbanas, llegan a contener una variedad de sustancias tóxicas y persistentes tales como productos farmacéuticos, radionucleidos, disolventes y desinfectantes para fines médicos en un amplio intervalo de concentraciones debido a actividades de laboratorio e investigación (Verlicchi, Galletti, Petrovic, & Barceló, 2010).

Los efluentes de origen hospitalario constituyen el mayor punto de descarga de antibióticos, así como de elevadas concentraciones de microorganismos y virus (enterobacterias, coliformes fecales, entre otros), los cuales, vertidos en el medio ambiente, producen un fuerte impacto en la composición física, química y biológica de los cuerpos receptores. Por tal razón los desechos hospitalarios son peligrosos para el equilibrio ecológico y la salud pública; un tratamiento ineficiente puede conducir a la propagación de enfermedades, la contaminación del agua y una contaminación radiactiva (Gautam, Kumar, & Sabumon, 2007).

El objetivo fundamental de las actividades sanitarias es la atención y el bienestar de la población sin tomar en cuenta en la mayoría de los casos la cantidad de riesgos producto de los desechos de atención médica que deben ser minimizados, para proveer condiciones que sean seguras y adecuadas a los pacientes, evitando el incremento en la morbilidad y aparición de enfermedades crónicas como resultado del acarreamiento de elevadas concentraciones de microorganismos, virus y compuestos tóxicos farmacorresistentes que son liberados al medio.

En Nicaragua el tratamiento de aguas residuales hospitalarias, así como la gestión de desechos sólidos no tienen un desarrollo notable debido a los costos que estos tipos de sistemas de tratamiento conllevan, por lo tanto, no se realizan tratamientos específicos adecuados lo que representa un problema con potenciales riesgos para la salud ambiental y humana en las diferentes

comunidades o ciudades, debido a las grandes cargas de materia orgánica presentes en estas aguas de residuo.

En este país la gestión ambiental es un compromiso del Ministerio de Salud con la comunidad, los pueblos indígenas, la población en general y el país, la gestión ambiental está fundamentada en el respeto a las normativas legales nacionales, ley general del medio ambiente y los recursos naturales, ley general de salud, los postulados de la Declaratoria de la Madre Tierra y el Bien Común, y los compromisos ambientales firmados por el Gobierno de Nicaragua ante organismos internacionales.

Todas las disposiciones, regulaciones técnicas y ambientales para la ubicación, operación, mantenimiento, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos en el país son establecidas por la Normativa Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05 027 - 05, los valores permisibles o rangos de vertidos son estipulados en el Artículo 27 del Decreto No. 21 - 2017 (Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales).

El presente trabajo tuvo el propósito de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para el hospital Nilda Patricia Velasco ubicado en el municipio de Ciudad Sandino, en vista de que estas aguas no están siendo tratadas previamente antes de su descarga directa al alcantarillado sanitario de la ciudad, lo que indica que los contaminantes presentes son arrastrados y transportados a través de las aguas urbanas, de modo que estas posteriormente serán tratadas como si fuesen aguas domésticas en el sistema de depuración Municipal que está conformado por un Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) conocido como Reactor Anaerobio de Manto de Lodo de Flujo Ascendente; debido al desarrollo habitacional de la zona se ha incrementado el volumen del efluente sobrepasando la capacidad de este sistema de tratamiento en los últimos siete años (Lara, 2017).

Para el diseño del sistema se determinó el volumen de aguas generadas y los indicadores de contaminación ambiental, lo cual sirvió para definir el sistema de tratamiento de aguas residuales convencional. Esto permite que la disposición de los efluentes cumpla con los valores permisibles de vertido establecidos en las normas por su correcta remoción de los componentes indeseables antes de que el agua sea depositada en el Lago Xolotlán.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Primario Nilda Patricia Velasco de Zedillo en el municipio de Ciudad Sandino durante el periodo Diciembre 2018 y Febrero 2019.

2.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la cantidad de efluente que se genera en las distintas unidades del Hospital para estimar el caudal total a ser tratado.
- Determinar la calidad del vertido de los efluentes hospitalarios a través de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de estos.
- Elaborar una propuesta de diseño de un sistema de tratamiento para reducir la carga de contaminantes en los efluentes hospitalarios.
- Valorar la calidad de los efluentes del nuevo sistema de tratamiento a través de un balance de contaminantes en cada operación y proceso unitario seleccionado.
- Realizar recomendaciones de gestión ambiental para el buen uso del agua en cada una de las áreas de los servicios sanitarios y la minimización del vertido de los efluentes generados.

III. MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se presentan los conceptos teóricos e información necesaria para comprender mejor el trabajo de tesis a realizar. Se incluye información básica de la calidad de las aguas residuales hospitalarias, la clasificación general de los residuos y los problemas de salud que estos acarrearán. Así también se muestra la normativa vigente en Nicaragua para este tipo de efluentes, algunas legislaciones internacionales, y las tecnologías más utilizadas para brindar un adecuado tratamiento a las aguas de desechos antes de ser vertidas a los cuerpos de agua o al alcantarillado sanitario del municipio.

3.1 Contaminación Hídrica

La observación de la extensión y diversidad de la contaminación ha venido siendo con el paso de los años una prioridad, las consecuencias por el crecimiento demográfico como la expansión per cápita del consumo de materiales y energía van aumentando las cantidades de desechos que luego son depositadas en el ambiente (Ho & Edith, 2002). Pero fue hasta el Siglo XX que en algunas partes del mundo se empezó a conocer el efecto provocado por las aguas residuales en la vida normal, dando origen a un gran número de problemas sanitarios; esto llevó a que en las ciudades e industrias de la época se iniciara la instalación de zonas de depuración, fosas sépticas las cuales se convirtieron en un mecanismo de tratamiento para las aguas residuales domésticas en las áreas urbanas y rurales.

Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primeramente la técnica del filtro de goteo; para la segunda década del mismo siglo en Gran Bretaña se dio un progreso notable para el sistema de tratamiento de lodos activados dándose una mayor utilización de este alrededor del mundo y a partir de 1970 se divulgó la cloración convirtiéndose en un paso más significativo en los tratamientos químicos por el auge de la industrialización (Acebey, 2016).

La mayoría de las ciudades e industrias que trabajan con productos de origen natural generan una cantidad elevada de desechos convirtiéndose en fuentes de contaminación de tipo orgánica, los que así mismo son transportados por las fuentes de aguas aledañas dando como resultado la contaminación de los ecosistemas acuáticos naturales; se estima que el 80% de la contaminación de los océanos es proveniente de los ríos, las emisiones costeras y la atmósfera.

Otra forma de incidencia en las aguas es la contaminación tóxica, que proviene de las industrias que manipulan agentes químicos. Por otra parte, la combinación de pozos negros de desechos con pozos de agua para el consumo humano, generan la contaminación bacteriana.

Por último, las aguas de refrigeración que se calientan y se eliminan directamente a los ríos y desagües, causan la contaminación térmica, con consecuencias sobre la vida de algunas especies animales y vegetales, permitiendo una intensa actividad bacteriana.

3.2 Efectos de las Aguas Residuales Hospitalarias

La contaminación de los ecosistemas acuáticos naturales por las aguas residuales de origen hospitalario es uno de los temas de mayor atención ambiental, de igual manera la salud humana desde hace algunos años. Diversos investigadores reportan que estas aguas residuales representan un problema en cuanto a su eliminación, debido al peligro latente de elevadas concentraciones de microorganismos y virus (enterobacterias, coliformes termotolerantes, entre otros), algunos de los cuales pueden haber adquirido multiresistencia antibiótica, también pueden estar presentes solventes y metales pesados (Acebey, 2016).

Estas aguas componen una mezcla de sustancias complejas cuya actividad tóxica y de mutación genética dependerá de interacciones sinérgicas y antagónicas entre sus componentes, entre éstos mismos y el ambiente. Cabe señalar que las aguas resultado de las actividades hospitalarias son la mayor fuente de contaminantes emergentes encontrándose los antibióticos de baja biodegradabilidad, el 90% de estos compuestos luego de su administración no son metabolizados y si excretados por medio de la orina o heces.

Varios estudios han demostrado que estos componentes no son removidos cuantitativamente por medio de procesos de tratamiento convencionales, como consecuencia de esto son encontrados en fuentes de agua potable lo que constituye un potencial riesgo para la salud humana. En este sentido los estudios deben estar orientados a determinar la capacidad de remoción de la materia orgánica no biodegradable utilizando diversos procesos de tratamiento (Penagos et al., 2012).

Cuando se presenta un mal manejo, recolección, tratamiento y eliminación de los efluentes y lodos estos generaran una contaminación en las fuentes locales con

agentes patógenos causando numerosas enfermedades o hasta la muerte (Figura 1) que son transmitidas por vectores como la malaria o la filariasis, propagación de parásitos (gusanos redondos o *Ascaris lumbricoides*), por ejemplo, en la Guía para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (2006) la presencia de Nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable se encontró que provoca metahemoglobinemia o síndrome del recién nacido cianótico, en lactantes alimentados con biberón llegando a complicar por la presencia de la contaminación microbiana.

Existen muchos antecedentes de este tipo de contaminación principalmente en los lagos por la vulnerabilidad que estos presentan produciéndose la eutrofización; convirtiéndose en los principales causantes todos aquellos fertilizantes químicos y las emisiones humanas que son arrastradas por el agua desde los campos de cultivo. Cuyo proceso puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor, olor, y un cúmulo de algas o verdín desagradable a la vista que favorecen potencialmente a bacterias peligrosas como las *Cianobacterias* dando lugar a la formación de toxinas.

Es decir, se da un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del oxígeno (hipoxia) en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras.

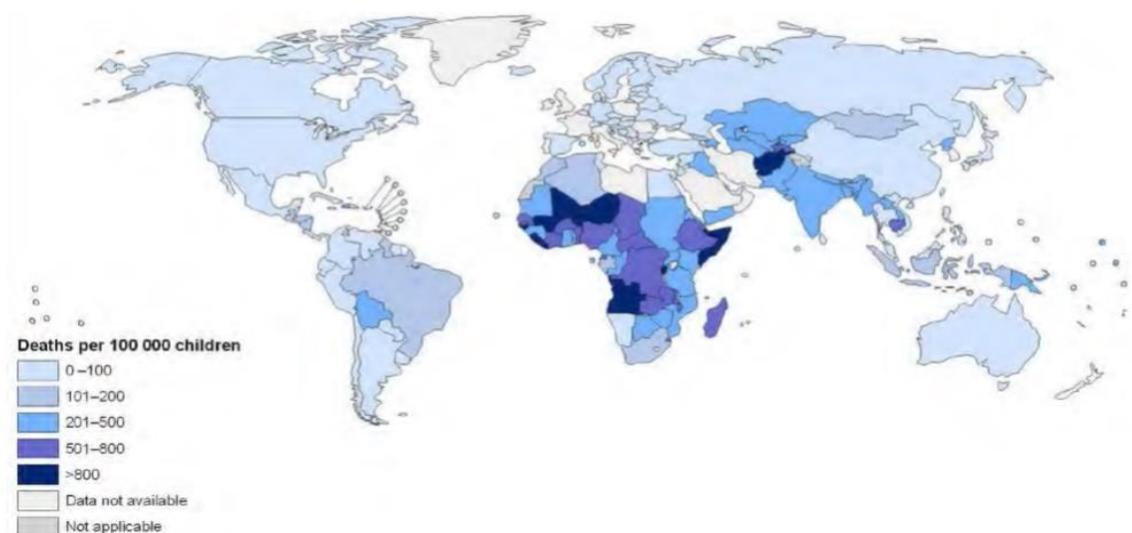


Figura 1: Muertes debido a sistemas inadecuados de agua y saneamiento por cada 1000 habitantes

Fuente: Chartier, 2014

En la Figura 1 se presentan las muertes causadas por sistemas de saneamiento inadecuados a nivel mundial.

3.3 Residuos Sanitarios, Definición y Características

Los residuos o desechos sanitarios (Figura 2) que se generan producto de la atención de salud tanto en las áreas de los hospitales como centros de investigación y laboratorios relacionados con procedimientos médicos incluyen los desechos procedentes de fuentes menores y dispersas, abarcando los residuos originados en los hogares (por ejemplo, diálisis, autoadministración de insulina, cuidados de recuperación).

Según Chartier (2014) entre el 75% y el 90% de los desechos producidos por los proveedores de servicios de salud son comparables a los desechos domésticos y generalmente se les denomina no peligrosos o desechos generales de atención de la salud. Estos residuos proceden principalmente de las funciones administrativas, de cocina y de limpieza, pueden incluir los residuos de envases o desechos generados durante el mantenimiento de los edificios de atención sanitaria.

Del 10% al 25% restante de los residuos hospitalarios se consideran peligrosos, es decir que pueden plantear una variedad de riesgos ambientales y para la salud.

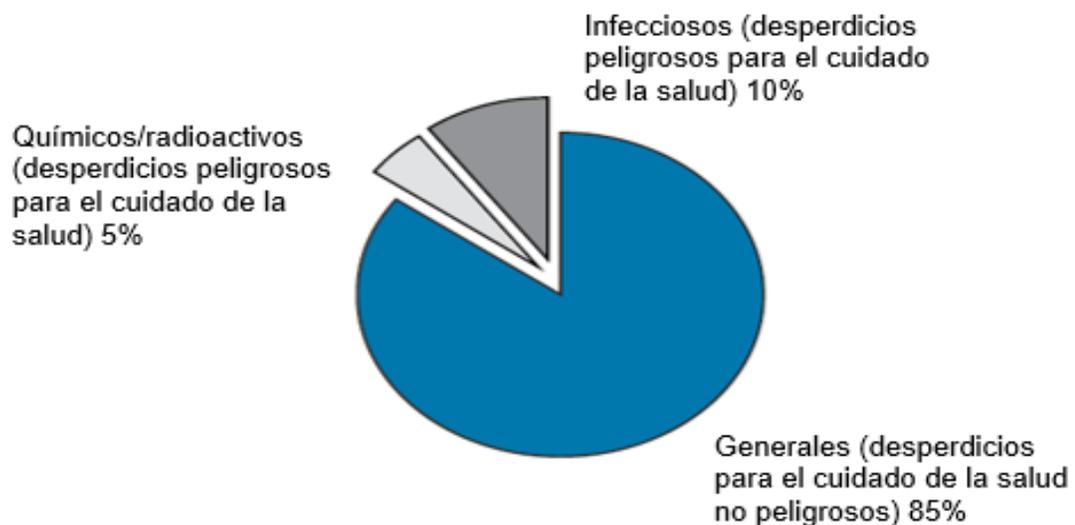


Figura 2: Composición típica de residuos en instalaciones de atención médica

Fuente: Chartier, 2014

En Tabla 1 se resume una clasificación de residuos para el cuidado de la salud.

Tabla 1: Clasificación de residuos sanitarios

Categoría de Residuos	Descripciones y Ejemplos
Objetos punzantes	Ya sean usados o no utilizados, estos están comprendidos por: agujas hipodérmicas, intravenosas, jeringas, etc.
Desechos infecciosos	Se considera que estos pueden contener patógenos que presentan un riesgo de transmisión, abarca todos aquellos que han estado en contacto con sangre y otros fluidos corporales, cultivos de laboratorio y existencias microbiológicas. De igual manera los excrementos y otros materiales que han estado en contacto con pacientes infectados con enfermedades altamente infecciosas.
Desperdicios patológicos	Comprenden los tejidos, órganos, partes del cuerpo, fetos y productos de sangre no utilizados.
Desechos farmacéuticos	Productos farmacéuticos caducados, residuos citotóxicos que contienen sustancias con propiedades genotóxicas, desechos que contienen medicamentos citostáticos a menudo utilizados en la terapia contra el cáncer.
Desperdicios químicos	Abarca sustancias químicas como los reactivos de laboratorio, reveladores de película, desinfectantes, disolventes, desechos con alto contenido de metales pesados, baterías, termómetros rotos y calibradores de presión sanguínea.
Desechos radioactivos	Son todos aquellos que contienen sustancias radiactivas especialmente los líquidos que no fueron utilizados en radioterapia o de laboratorio, orina y excrementos de pacientes tratados o analizados con radionucleidos no sellados.
Residuos no peligrosos o generales	Residuos que no presentan ningún riesgo biológico, químico, radiactivo o físico.

Fuente: Chartier, 2014

3.4 Caracterización de los Efluentes Hospitalarios

Existen parámetros convencionales y no convencionales que ayudan a caracterizar los efluentes hospitalarios. En las últimas décadas los investigadores se han dedicado a identificar las propiedades biológicas, físicas y químicas de los efluentes hospitalarios para evaluar los riesgos potenciales que están asociados con las descargas en los ecosistemas acuáticos.

Verlicchi (2017) ha cuantificado en los efluentes de varios hospitales contaminantes como coliformes (totales y termotolerantes), residuos químicos (por ejemplo, detergentes), patógenos (*E. Coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* y *Vibrio*), residuos farmacéuticos, radioelementos, metales pesados y compuestos químicos tóxicos. Muchos de estos están clasificados en función de su concentración como micro contaminantes (10^{-6} - 10^{-3} mg/L) o macro contaminantes ($> 10^{-3}$ mg/L).

A su vez la variabilidad de los efluentes depende de varios factores los cuales son: número de camas, cantidad de salas y unidades, años de las instalaciones, prácticas de mantenimiento, sistemas de control de temperatura, números de pacientes tanto internados como ambulatorios, políticas de gestión institucional, ubicación geográfica, hora del día, temporada, los servicios generales: cocina y lavandería (Verlicchi, 2017).

Todo esto confirma que en estas aguas se llegan a encontrar partículas orgánicas (heces, pelos, comida, vómito, papel, fibras), material orgánico soluble (urea, proteínas, productos farmacéuticos), partículas inorgánicas (arena, arena, partículas metálicas), material inorgánico soluble (amoníaco), cianuro, sulfuro de hidrógeno, tiosulfatos) y otras sustancias siempre dependiendo de la fuente de origen.

En los centros de atención de salud de los países industrializados se ha estimado una demanda mayor de agua en comparación a los países en vías de desarrollo, los valores van desde 200 y 1200 L/cama-día correspondientes a los países desarrollados y 200 a 400 L/cama-día estimados en los hospitales del tercer mundo. Se toma en cuenta que solamente entre 0.2% y 65% de los efluentes hospitalarios totales de los países industrializados son tratados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (Verlicchi, 2017).

De las etapas de las Plantas de Aguas Residuales (PTAR), sus condiciones operacionales, tipos de reactores, características ambientales, biodegradabilidad, adsorción, volatilización, solubilidad y propiedades fisicoquímicas dependerá la remoción de los contaminantes comunes. Cabe destacar que la mayoría de las PTAR han sido diseñadas para la remoción de compuestos de carbono, nitrógeno y fósforos moderadamente biodegradable, microorganismos microbiológicos, pero no para micro contaminantes, residuos farmacéuticos o cualquier otro tipo de residuo químico característicos de las aguas hospitalarias (Verlicchi, 2017).

En resumen Verlicchi (2017) ha confirmado que en los efluentes provenientes de las instalaciones de salud han sido identificados hasta 300 tipos de residuos farmacéuticos conjugados y otros residuos químicos, los que son preocupantes dado a las evidencias existentes de los impactos en los ecosistemas acuáticos, especialmente en los organismos que llegan a presentar lesiones genéticas, anomalías orgánicas y reproductivas, cambios de comportamiento; se da la presencia de bacterias y genes los cuales son resistentes a antibióticos una vez que son liberados al medio ambiente.

3.4.1 Características físico-químicas

El caracterizar los efluentes hospitalarios incluye parámetros que evalúan la presencia y las cargas de la materia orgánica e inorgánica, los más comunes son:

Conductividad Eléctrica (CE)

Es la capacidad de una sustancia o mezcla de sustancias para transmitir la corriente eléctrica o el calor. Esta propiedad está directamente relacionada con la cantidad de sales disueltas. A mayor cantidad de sales disueltas, mayor conductividad (Fajardo & UICN, 2005). Depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición.

La conductividad es el inverso de la resistencia específica, y se expresa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$), equivalentes a microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) o milisiemens por centímetro (mS/cm) en el Sistema Internacional de Unidades (Suarez, 2006).

pH

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido-base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión dependen del pH (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1996).

El pH se usa en mediciones de alcalinidad y dióxido de carbono y muchos otros equilibrios ácido-base. A una temperatura dada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución se indica por el pH o la actividad de iones de hidrógeno.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Son los sólidos no solubles que representan la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales disueltos (Fajardo & UICN, 2005). Los sólidos totales incluyen el residuo retenido por un filtro (sólidos suspendidos) y el residuo que pasa a través del filtro (sólidos disueltos).

De acuerdo a Gómez (1995) los sólidos suspendidos están constituidos por la materia suspendida que es retenida sobre un filtro de fibra de vidrio, cuando se ha pasado una muestra de agua residual previamente agitada. Por esto la determinación de los sólidos suspendidos es de gran valor en el análisis de aguas contaminadas; siendo considerado como uno de los mejores parámetros usados para evaluar la contaminación de las aguas residuales domésticas y, determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento.

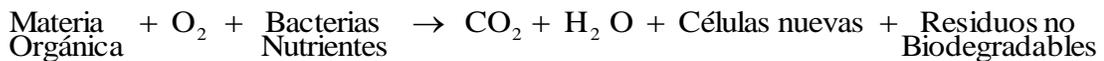
Sólidos Sedimentables

Es la materia que se deposita por acción de la gravedad en el fondo de cualquier recipiente o cuerpo receptor que contenga agua.

Los sólidos sedimentables en aguas superficiales y salinas, así como los desechos domésticos e industriales pueden ser determinados y reportados en base a un volumen (mL/L) o un peso (mg/L).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad estimada de oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual. Es una característica importante de las aguas residuales, ya que expresa el oxígeno consumido cuando la oxidación no es realizada por un producto químico de oxidación fuerte.



De acuerdo a Clesceri et al. (1996), la determinación de este parámetro se utiliza en procedimientos de laboratorio estandarizados para determinar los requisitos de oxígeno relativos de las aguas residuales, los efluentes y las aguas contaminadas. La prueba tiene su aplicación más amplia en la medición de cargas de residuos a plantas de tratamiento y en la evaluación de la eficiencia de eliminación de DBO de dichos sistemas de tratamiento.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la oxidación química fuerte de sustancias susceptibles de origen inorgánico y orgánico presentes en el agua. La DQO mide el contenido de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en una muestra usando un oxidante químico fuerte, tales como dicromato o permanganato de potasio (García, 2017).

La DQO del agua residual suele ser mayor que su correspondiente en DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química, frente a los que se oxidan por vía bioquímica.

Aceites y Grasas Totales

Son las sustancias químicas no miscibles en el agua, pero solubles en solventes orgánicos.

En la determinación de aceite y grasa según Clesceri et al. (1996), no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica. Por el contrario, los grupos de sustancias con características físicas similares se determinan cuantitativamente sobre la base de su solubilidad común en un disolvente de extracción orgánico. Aceite y grasa se define como cualquier material recuperado como sustancia soluble en el solvente. Incluye otro material extraído por el solvente de una

muestra acidificada (como compuestos de azufre, ciertos tintes orgánicos y clorofila).

En la Tabla 3 se presentan los rangos de concentraciones medidos en efluentes hospitalarios de diferentes países durante un lapso de 20 años de algunos parámetros mencionados anteriormente. Según Verlicchi et al. (2010), indican que estos efluentes típicamente presentan DBO₅, DQO y SST dos o tres veces más altos que en efluentes municipales correspondientes a contribuciones específicas de 160 g DBO₅/paciente-día, 260 - 300 g DQO/paciente-día y 120 - 150 g SST/paciente-día.

Materia Flotante

Es un criterio importante para evaluar el posible efecto de la eliminación de desechos en la superficie.

Dos tipos generales de materia flotante son encontrados: material particulado que incluye bolas de grasa y componentes líquidos capaces de extenderse como una película delgada y altamente visible sobre grandes áreas.

El material flotante en aguas residuales es importante porque se acumula en la superficie, a menudo es altamente visible, está sujeto a transporte inducido por el viento, puede contener bacterias patógenas o virus asociados con partículas individuales, que pueden concentrar significativamente metales e hidrocarburos clorados tales como pesticidas y policlorobifenilos (PCBs) (Association, 1998).

Sustancias Activas al Azul de Metileno

Entran en aguas residuales principalmente por la descarga de desechos acuosos de lavado doméstico e industrial y otras operaciones de limpieza. Se combinan en una sola molécula, un grupo fuertemente hidrófobo con uno fuertemente hidrófilo.

Tales moléculas tienden a congregarse en las interfaces entre el medio acuoso y las otras fases del sistema como aire, líquidos aceitosos y partículas, impartiendo así propiedades tales como espumación, emulsificación, y suspensión de partículas (Association, 1998).

Arsénico

El arsénico es un elemento químico distribuido en la corteza terrestre, que se presenta de la forma química (As^{3+} y As^{5+}) fundamentalmente; la principal fuente de arsénico en las aguas es la dilución de minerales y menas de origen natural.

Dicho elemento en las aguas de consumo afecta la salud, según la Organización Mundial de la Salud (2006) existen estudios epidemiológicos de que existe una relación en el desarrollo del cáncer con el consumo de arsénico en el agua.

Nitrógeno Total

El nitrógeno es un nutriente esencial para todas las formas de vida y cambios pequeños en las concentraciones de nitrógeno biológicamente asequible pueden afectar drásticamente los niveles de la vida de los animales y las plantas. En el agua de origen residual existe amoníaco (NH_3) en forma no ionizada, que es tóxico y la forma ionizada (ion amonio, NH_4^+) relativamente no tóxico.

El método tradicional de determinación de nitrógeno total es el método Kjeldahl que proporciona el contenido de nitrógeno orgánico más nitrógeno amoniacal de una muestra. El nitrógeno total Kjeldahl está definido como la suma de amonio libre y compuestos orgánicos nitrogenados que son convertidos a sulfato de amonio, después de la digestión de la muestra con ácido sulfúrico y en presencia de un catalizador. El amonio es destilado en medio alcalino y recuperado nuevamente para su cuantificación (Espinosa-Lloréns, León-Hernández, & Rodríguez-Petit, 2013).

Fósforo Total

El fósforo se encuentra en aguas naturales y en aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos. Estos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos unidos orgánicamente.

Estas formas de fosfato surgen de una variedad de fuentes. Pequeñas cantidades de ortofosfato o ciertos fosfatos condensados se agregan a algunos suministros de agua durante el tratamiento. Se forman fosfatos orgánicos principalmente por procesos biológicos, se incorporan al drenaje por desechos corporales y residuos de alimentos, y también pueden formarse a partir de ortofosfatos en procesos de tratamiento biológico (Association, 1998).

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente que limita la productividad primaria de un cuerpo de agua. En los casos en que el fosfato es un nutriente que limita el crecimiento, la descarga de aguas residuales sin tratar o tratadas, el drenaje agrícola o ciertos desechos industriales en esa agua pueden estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades molestas (Association, 1998).

Alcalinidad

La alcalinidad de un agua es su capacidad neutralizadora de ácidos. Es la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH final utilizado (Garcia, 2017).

La alcalinidad es significativa en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y aguas residuales. Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es principalmente una función de carbonato, bicarbonato, y el contenido de hidróxido, se toma como una indicación de la concentración de estos constituyentes.

Bajo ciertas condiciones las aguas naturales pueden contener cantidades apreciables de alcalinidad en forma de carbonatos e hidróxidos. Es de gran importancia en muchos usos y tratamiento de aguas naturales y de desecho y, sus mediciones, se usan para la interpretación y control de tales procesos.

3.4.2 Características bacteriológicas

La contaminación fecal y patógena son las evaluaciones generales para la caracterización bacteriológica, la presencia de estas bacterias en las aguas residuales se considera una indicación de la contaminación fecal, por lo tanto, de la presencia de microorganismos fecales patógenos los que se determinan a través de un análisis de *E. coli* dado que representan el 80% - 90% de los coliformes termotolerantes.

La *E. coli* es una especie de bacteria anaeróbica facultativa que predomina en el intestino y las heces; existen parámetros que son menos comunes pero que también son analizados en los efluentes hospitalarios, incluyéndose a:

- Las bacterias tales como esporas de anaerobios reductores de sulfito, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*.

- Virus patógenos tales como enterovirus, norovirus, adenovirus, rotavirus y virus de la hepatitis A.

Las cargas de la contaminación fecal (coliformes totales y termotolerantes) generalmente es más relevante en los efluentes municipales que en los efluentes de los hospitales. Esto es resultado de la mayor dilución del efluente del hospital debido al consumo significativo de agua por cama.

Por otra parte, se ha informado lo contrario de que la concentración de enterovirus es dos o tres veces mayor en el efluente del hospital que en el efluente municipal (Carraro et al., 2016).

Tabla 2: Parámetros característicos de los efluentes hospitalarios

Parámetro (Unidad de Medida)	Concentración (s)
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	300 - 2,700
pH	6 - 9
Potencial redox (mV)	850 - 950
Grasa y aceite (mg/L)	50 - 210
Cloruros (mg/L)	80 - 400
N total (mg N/L)	60 - 230
NH ₄ (mg NH ₄ /L)	10 - 68
Nitrito (mg NO ₂ /L)	0.1 - 0.6
Nitrato (mg NO ₃ /L)	1 - 2
Fosfato (mg P-PO ₄ /L)	6 - 19
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	116 - 3,260
DQO (mg/L)	39 - 7,764
DQO disuelto (mg/L)	380 - 700
COD (mg/L)	120 - 130
COT (mg/L)	31 - 180
DBO ₅ (mg/L)	16 - 2,575
DBO ₅ /DQO	0.3 - 0.6
AOX ($\mu\text{g}/\text{L}$)	550 - 10,000
<i>E. coli</i> (NMP 100/mL)	10 ³ - 10 ⁶
Coliformes fecales (NMP 100/mL)	10 ³ - 10 ⁴
Coliformes totales (NMP 100/mL)	10 ⁴ - 10 ⁷
Tensioactivos totales (mg/L)	4 - 8
Desinfectantes totales (mg/L)	2 - 200

Parámetro (Unidad de Medida)	Concentración (s)
Norovirus (copias genómicas/L)	2.4×10^6
Adenovirus (copias genómicas/L)	2.8×10^6
Rotavirus	1.9×10^6
Virus <i>Hepatitis A</i>	10^4
Gd ($\mu\text{g/L}$)	< 1 - 300
Pt ($\mu\text{g/L}$)	0.01 - 289
Hg ($\mu\text{g/L}$)	0.04 - 5
Ag ($\mu\text{g/L}$)	$150 - 437 \times 10^3$
As ($\mu\text{g/L}$)	0.8 - 11
Cu ($\mu\text{g/L}$)	50 - 230
Ni ($\mu\text{g/L}$)	7 - 71
Pb ($\mu\text{g/L}$)	3 - 19

Fuente: Verlicchi, 2017

3.5 Tratamiento In Situ de Aguas Residuales

Como lo ha mencionado Chartier (2014) las aguas hospitalarias son similares a las residuales municipales, pero estas contienen compuestos químicos peligrosos, metales pesados, desinfectantes, detergentes específicos y principalmente compuestos farmacéuticos (PhCs) en altas concentraciones cuyas cargas generadas son consideradas peligrosas, hecho por el que se cuestionan las descargas de las aguas hospitalarias en los sistemas de alcantarillado público donde luego son tratadas en las PTAR en conjuntos con las aguas residuales urbanas.

En las que además se da una ineficiente eliminación de los PhCs en los sistemas convencionales, por lo tanto, la correcta gestión, tratamiento y eliminación de los PhCs es mediante sistemas de tratamiento específicos para los efluentes de los hospitales.

Para Lin y Lee (2007) los sistemas de tratamientos de aguas residuales convencionales son combinaciones de procesos biológicos y físicos (algunos con químicos) para remover sus impurezas. Los métodos alternativos para tratamientos de aguas residuales municipales estas clasificados en tres categorías principales

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales involucra las siguientes etapas:

3.5.1 Pretratamiento

La selección del proceso normalmente se basa sobre las características esperadas del flujo influente. El objetivo de esta primera etapa según Lin y Lee (2007) es evitar el daño o la obstrucción de los equipos que son utilizados en las etapas de tratamiento posterior, más aún producir un líquido generalmente homogéneo que permita ser tratado biológica o mecánicamente. Además, la eliminación de varios materiales al comienzo del tren de tratamiento ahorra un espacio valioso dentro de la planta de tratamiento (Spellman, 2008).

La calidad de las aguas residuales no se mejora sustancialmente con el tratamiento preliminar; y la tecnología más utilizada es la rejilla inclinada para eliminar objetos grandes, después de esto la velocidad de las aguas residuales entrantes se reduce para permitir la sedimentación de arena y piedras; se elimina el material flotante, como la grasa y los plásticos, por consiguiente, se instalan tanques de sedimentación primaria para permitir que se sedimenten los sólidos fecales (Chartier, 2014).

En esta etapa se utilizan dispositivos para la medición de flujos y reguladores (ecualización de flujo), rejillas, dispositivos de trituración (trituradoras y cortadoras) para separar restos voluminosos como palos, telas, plásticos, etc. (García, 2017). Además Lin y Lee (2007) agrega desarenadores, tanques de preaeración y (posiblemente) cloración.

Los tipos de tratamientos primarios fundamentales son:

Cribado

Las aguas residuales del sistema de alcantarillado como lo menciona Ramalho (1990) fluyen por gravedad o son bombeadas en la planta de tratamiento. Siendo esta detención la primera unidad para la reducción de los sólidos en suspensión de tamaños distintos.

La distancia de las rejillas depende del objeto de las mismas y su limpieza se hace mecánica o manualmente. Las rejillas y pantallas utilizadas son para eliminar objetos grandes como trapos, plásticos, papel, metales, animales muertos, y similares (Lin & Lee, 2007).

Trituradora

Corta y muele los sólidos gruesos en las aguas residuales hasta aproximadamente 6 a 10 mm (1/4 a 3/8 pulgadas) para que los sólidos no dañen el equipo de tratamiento posterior. Los sólidos triturados se eliminan luego en las cuencas de sedimentación primaria; se instalan directamente en el canal de flujo de aguas residuales. y están equipados con una derivación para que la unidad se pueda aislar para el mantenimiento de servicio (Marcelo & Fanola, 2008).

Desarenador

La arena se origina a partir de desechos domésticos, escorrentía de aguas pluviales, industriales, bombeo de excavaciones y filtraciones de aguas subterráneas. Se compone de material inorgánico inerte como arena, cenizas, rocas, grava, puntas de filtro de cigarrillos, fragmentos de metal, etc. Dichas arenas pueden promover el desgaste excesivo en equipos mecánicos y bombas de lodos, e incluso obstrucciones de tuberías (Lin & Lee, 2007).

Se deben proporcionar cámaras de arena para todas las plantas de tratamiento de aguas residuales. Las cámaras de arena generalmente se instalan por delante de bombas y dispositivos de trituración (Lin & Lee, 2007).

Para poblaciones pequeñas generalmente se diseñan en forma de canales, en los que se controla la velocidad de flujo para propiciar la sedimentación de material inorgánico, manteniendo en suspensión los sólidos orgánicos.

Ecualizador de Flujo

Las aguas residuales crudas entrantes varían con la hora del día, la variación diurna llamada, que va desde menos de la mitad hasta más de 200% del caudal medio. Un evento de tormenta podría aumentar el flujo.

El objetivo de la ecualización para Lin y Lee (2007) es reducir el aumento repentino de entrada y para equilibrar las fluctuaciones en el sistema de recolección o en el almacenamiento en la planta. Esto beneficia el rendimiento del tratamiento posterior. A su vez procesa y reduce el tamaño, así como, los costos de las unidades de tratamiento, estas instalaciones de ecualización de flujo incluyen el almacenamiento temporal de los flujos en las alcantarillas existentes.

3.5.2 Tratamiento primario

Hace sedimentar los materiales suspendidos, según Garcia (2017) a través de tratamientos físicos o físicos-químicos; en algunos casos se pueden dejar las aguas en los tanques durante un tiempo específico o se pueden usar sustancias químicas quelantes en el agua que permiten una mayor eficacia y rapidez para la sedimentación, hay que mencionar otros tratamientos como la neutralización de pH o la desorción.

Sedimentación

La sedimentación es el proceso de remover partículas sólidas más pesadas que el agua a través de la decantación o por gravedad. Siendo esta la operación de unidades más antigua y más utilizada en los tratamientos de aguas residuales. Para Lin y Lee (2007) la unidad de sedimentación también puede denominarse tanque de sedimentación o clarificador.

En el tratamiento de aguas residuales, la sedimentación se utiliza para eliminar materiales orgánicos e inorgánicos que se pueden sedimentar en condiciones de flujo continuo. Elimina arena, partículas en el tanque de sedimentación primario, y flóculos químicos de una unidad de precipitación química. La sedimentación es también utilizada para la concentración de sólidos en espesantes de lodos.

Según Lin y Lee (2007) debido a la concentración de sólidos y la tendencia de interacción de partículas, existen cuatro tipos de sedimentación que pueden ocurrir en las operaciones de sedimentación de aguas residuales. Las cuatro categorías son discretas, floculantes, impedidas, y asentamientos por compresión. A su vez son conocidas como sedimentación tipo 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Las unidades o dispositivos de tratamiento que se utilizan en el proceso de sedimentación son:

- **Tanques sépticos:** Un tanque séptico es un depósito (que puede ser de uno o más compartimento), impermeable, de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe, además de la excreta y agua residual proveniente de los inodoros, aguas grises de origen doméstico. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra,

ladrillo, hormigón u otro material resistente a la corrosión (Marcelo & Fanola, 2008).

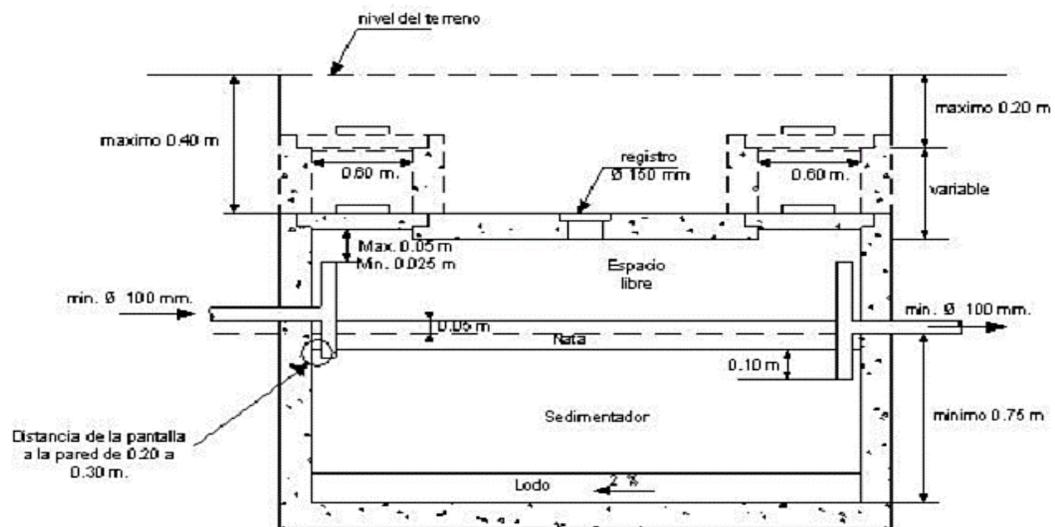


Figura 3: Tanque séptico

Fuente: Marcelo and Fanola, 2008

- **Tanques Imhoff:** Según García (2017) es una unidad de confinamiento de dos niveles que se le utiliza como estanque de sedimentación y cámara de digestión para la remoción de sólidos suspendidos. El tanque Imhoff es una unidad compacta, cuyo estanque está ubicado sobre una cámara de digestión. El material que se sedimenta se desvía para que pueda deslizarse directamente hacia la región de digestión (Marcelo & Fanola, 2008).

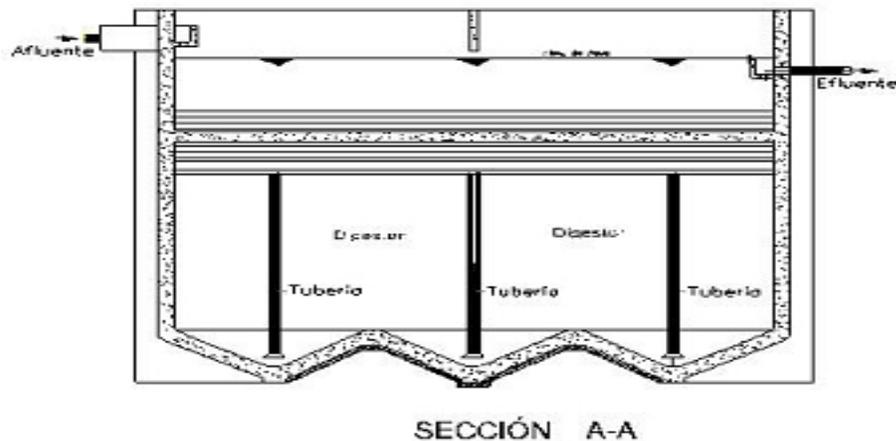


Figura 4: Tanque Imhoff

Fuente: García, 2017

3.5.3 Tratamiento secundario

En el tratamiento secundario, se eliminan las partículas coloidales y similares a través de procesos biológicos y químicos (Garcia, 2017). Si el tratamiento primario según Lin y Lee (2007) no es suficiente para cumplir con los estándares regulatorios de efluentes, el tratamiento secundario utilizará un proceso biológico que se usa principalmente para tratamiento adicional debido a su mayor eficiencia de remoción y menor costo que la coagulación química.

La materia biológica disuelta se convierte progresivamente en una masa sólida utilizando bacterias autóctonas transmitidas por el agua. Algunos componentes inorgánicos se eliminarán por sorción a las partículas de lodo, que luego se separan de la fase líquida del agua residual por sedimentación (Chartier, 2014).

Con microorganismos suspendidos

- **Lodos activados:** En el proceso de tratamiento biológico suspendido, bajo un suministro continuo de aire u oxígeno, los microorganismos aerobios vivos se mezclan a fondo con las sustancias orgánicas en las aguas residuales y utilizan las sustancias orgánicas como alimento para su crecimiento. A medida que crecen, se agrupan o flocculan para formar una masa activa de microbios. Esto es lo que se conoce como lodo activado (Lin & Lee, 2007).



Figura 5: Sistema de lodos activados

Fuente: Chartier, 2014

- **Lagunas de estabilización:** Este es un tipo de estanque de oxidación en el que la oxidación biológica de la materia orgánica se efectúa mediante la transferencia natural o artificialmente acelerada de oxígeno en la interfaz aire-agua. Con la excepción del cribado y la trituración, este tipo de estanque no recibe tratamiento previo y se ha comprobado que los meses de verano producen una alta eliminación de DBO₅ y excelentes remociones de sólidos en suspensión (Federation, 2008).

Con microorganismos fijos:

Estos son los sistemas como el filtro percolador, los contactores biológicos giratorios, los reactores de lecho fluidizado o el filtro biológico aireado.

- **Filtros percoladores:** En los sistemas de película fija, la biomasa crece en los medios y las aguas residuales pasan sobre su superficie, en donde el oxígeno se suministra a la biota pulverizando o filtrando las aguas residuales sobre los materiales del filtro, o el sistema se airea mecánicamente (Chartier, 2014).



Figura 6: Filtros percoladores

Fuente: García, 2017

- **Filtro anaerobio:** Estos son sistemas basados en biopelículas que pueden soportar altas tasas de carga orgánica para tratar aguas residuales industriales de alta resistencia. El filtro anaeróbico promueve el crecimiento de los anaerobios en un lecho de empaque y puede diseñarse para operaciones de flujo ascendente o descendente (Water Environment Federation & Force, 2008).

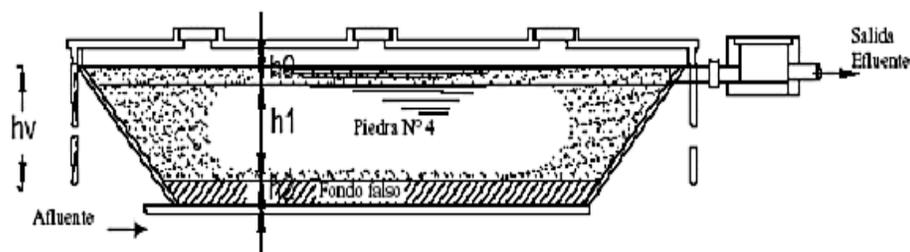


Figura 7: Filtro anaerobio

Fuente: Marcelo and Fanola, 2008

3.5.4 Tratamiento terciario

Durante la cuarta etapa, tratamiento terciario (al final del proceso de tratamiento) consisten en procesos físicos y químicos especiales para eliminar contaminantes como el fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc.

El tratamiento terciario por Chartier (2014) es el paso final en un proceso de tratamiento de aguas residuales antes de que el efluente se descargue en cualquier cuerpo receptor. Se puede usar más de un proceso de tratamiento terciario.

Si se requiere la desinfección de los efluentes como paso final del tratamiento, se debe realizar otro paso para eliminar la materia orgánica suspendida antes de la desinfección. Se pueden usar filtros de arena horizontales, lagunas de estabilización y humedales.

Reducción de Fósforo

Si se usa cal para la eliminación de fósforo, generalmente se agrega a la etapa de clarificación primaria o una unidad de tratamiento terciario. La dosis de cal requerida para lograr una turbidez dada y la concentración de fosfato en el efluente o el pH depende principalmente de la alcalinidad de las aguas residuales (Lin & Lee, 2007).

Remoción de Nitrógeno

Se han desarrollado muchos procesos de tratamiento. con el propósito específico de transformar compuestos de nitrógeno o eliminar nitrógeno de la corriente de

aguas residuales. La filtración terciaria elimina el nitrógeno orgánico suspendido del efluente secundario. Sin embargo, la mayoría del nitrógeno es inorgánico (amonio); la ósmosis inversa y la electrodiálisis se pueden utilizar como un proceso terciario para la eliminación de amonio teniendo una efectividad del 80% y 40%, respectivamente (Lin & Lee, 2007).

Después de separar los materiales sólidos y líquidos, el agua tratada puede desinfectarse.

3.5.5 Desinfección de aguas residuales

Los desinfectantes a base de cloro se usan tradicionalmente para desinfectar las aguas residuales de la atención médica. La eficacia de la desinfección depende en gran medida de la calidad del agua que se trata (por ejemplo, turbidez, pH), el tipo de desinfectante que se utiliza y la dosis de desinfectante (concentración y tiempo). Los tiempos de contacto cortos, las dosis bajas, los altos contenidos orgánicos y los altos flujos reducen la desinfección efectiva (Chartier, 2014).

Se debe agregar que para la desinfección con cloro esta será efectiva solo si el agua residual contiene < 10 mg/L de materia orgánica suspendida, y el agua turbia será tratada con menos éxito, porque la materia sólida puede proteger a los organismos. La cloración de material orgánico residual puede generar compuestos orgánicos clorados que pueden ser cancerígenos y nocivos para el medio ambiente. Por lo tanto, la desinfección con cloro solo se recomienda si se puede garantizar que la materia orgánica esté por debajo de 10 mg/L (Chartier, 2014).

En el caso de los efluentes provenientes de los servicios de atención a la salud normalmente se presenta la necesidad de realizar el proceso de desinfección por las descargas en los cuerpos receptores de agua, ya sea que los utilicen para actividades recreativas como es el caso del Lago Xolotlán o como fuente de agua potable (incluidos los acuíferos). La desinfección de las aguas residuales es particularmente importante si se descarga en aguas costeras cercanas a los hábitats de mariscos, especialmente si la población local se alimenta de estos.

3.5.6 Eliminación de lodo

De acuerdo a Chartier (2014) el tratamiento in situ de las aguas residuales de los hospitales producen un lodo que contiene altas concentraciones de helmintos y

otros patógenos, y debe tratarse antes de su eliminación. Las opciones de tratamiento más comunes incluyen la digestión anaeróbica, la digestión aeróbica y el compostaje.

La digestión anaerobia termófila o mesófila es un proceso bacteriano complejo que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y se utiliza principalmente en plantas de gran escala. Los lechos de deshidratación y deshidratación de compostaje o lodos son los más comúnmente utilizados para el tratamiento in situ en los hospitales.

La Figura 8 muestra un esquema de un sistema básico de tratamiento de aguas residuales de un hospital. Este sistema consta de una etapa de tratamiento primario y secundario, que se considera el tratamiento mínimo para los hospitales rurales de nivel primario y secundario.

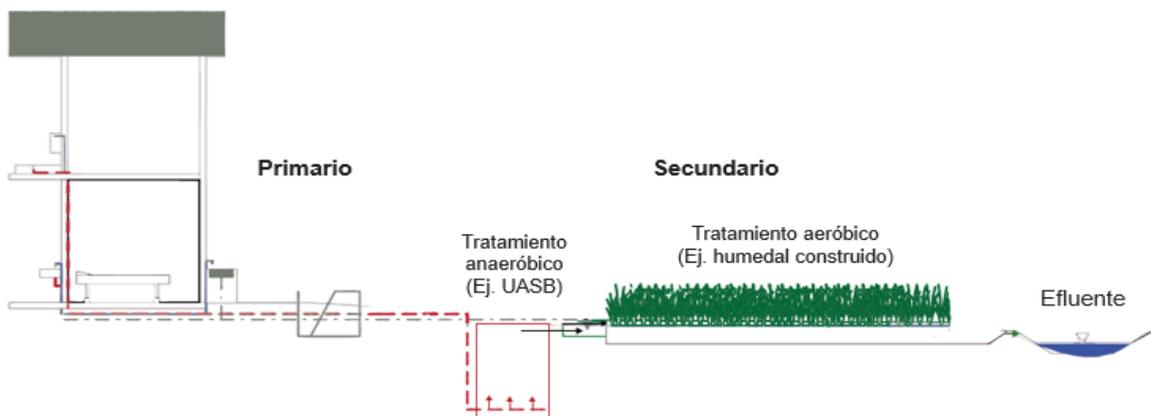


Figura 8: Sistema básico de tratamiento de aguas residuales hospitalarias

Fuente: Chartier, 2014

3.5.7 Tecnologías emergentes

Los reactores biológicos de membrana (MBR) combinan el tratamiento de lodo activado con un proceso de separación líquido-sólido de membrana. El componente de membrana utiliza membranas de microfiltración o ultrafiltración de baja presión y elimina la necesidad de clarificación y filtración terciaria.

Las membranas están típicamente sumergidas en el tanque de aireación (sin embargo, algunas aplicaciones usan un tanque de membrana separado). Los MBR pueden desempeñar un papel clave en el tratamiento de aguas residuales

hospitalarias en el futuro, debido a la alta eliminación de bacterias posible y al potencial de reducir las cargas de antibióticos en las aguas residuales vertidas.

El costo de construir y operar un MBR generalmente es más alto que el tratamiento convencional de aguas residuales, al igual que los requisitos de mantenimiento. Sin embargo, como la tecnología se ha vuelto cada vez más popular y ha ganado una mayor aceptación, los costos del ciclo de vida han ido disminuyendo constantemente.

3.5.8 Reutilización de aguas residuales y lodos

Las plantas de tratamiento de efluentes residuales provenientes de los establecimientos de salud a menudo enfrentan problemas operativos debido a las preocupaciones sobre los productos químicos y farmacéuticos en dichas aguas, al mismo tiempo los posibles riesgos de higiene. Por lo general, no se recomienda la reutilización de esos efluentes, de la misma manera los lodos de hospitales en plantas de tratamiento de aguas residuales estándar, y solo se debe realizar si hay personal con conocimientos e instalaciones adecuadas para realizar las pruebas.

Si bien la reutilización de los lodos tratados fue común en el pasado, esta práctica ha sido criticada en los últimos tiempos debido a las altas concentraciones de metales pesados y los posibles impactos en la salud pública. Si los lodos se vuelven a utilizar con fines agrícolas, se deben analizar para confirmar que no contienen más de un huevo de helmintos por gramo de sólidos totales y que no contienen más de 1000 coliformes termotolerantes por gramo de sólidos totales (World Health Organization, 2006).

3.5.9 Tratamiento externo

Algunas categorías de residuos líquidos peligrosos para el cuidado de la salud, como productos químicos y desechos citotóxicos, deben tratarse y eliminarse en plantas de tratamiento especializadas fuera del sitio para desechos peligrosos de conformidad con las normas nacionales o convenciones internacionales, como las convenciones de Basilea y Estocolmo. Los países deberían planificar sistemas de gestión de residuos peligrosos que tengan en cuenta la recolección, el transporte, el tratamiento y la eliminación de algunas categorías de desechos líquidos peligrosos para el cuidado de la salud.

3.6 Legislaciones para Aguas Residuales

Existe una dificultad para encontrar regulaciones o normas específicas acerca del manejo de los efluentes hospitalarios a nivel internacional, precisamente porque carecen de ellas, en la mayoría de los países o si están presentes son difíciles de encontrar debido a que se encuentran en el idioma original.

3.6.1 Legislación nicaragüense para aguas residuales hospitalarias

En la Tabla 3 se observan los parámetros que fueron analizados en la presente investigación, los cuales están regidos según el Decreto 21-2017 por el Artículo 27, el cual proporciona los rangos y valores máximos permisibles de las descargas de los efluentes generados en los hospitales.

Artículo 27. Los vertidos provenientes de los sistemas de tratamiento de Hospitales que sean descargados a los cuerpos receptores, deberán cumplir los rangos y valores máximos permisibles siguientes:

Tabla 3: Legislación nicaragüense para efluentes hospitalarios

Parámetro	Rangos y Valores Máximos Permisibles
pH	6 - 9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	50
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1
DBO ₅ (mg/L)	60
DQO (mg/L)	120
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	20
Materia Flotante	Ausente

Fuente: Gaceta, 2017

3.6.2 Legislación de Costa Rica

Para esta investigación se utilizaron los parámetros máximos permisibles para aguas residuales hospitalarias establecidos en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales No. 33601 de la República de Costa Rica con el objetivo de tomar en cuenta otros parámetros que no están normados en la legislación nicaragüense.

Establecidos en el capítulo II se presentan los parámetros de análisis obligatorio para vertidos de aguas residuales:

Artículo 13. Alcance del presente capítulo. El presente capítulo establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deberán ser analizados obligatoriamente en las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario.

Artículo 14. Parámetros universales de análisis obligatorio en aguas residuales de tipo ordinario y especial. En todas las aguas residuales de tipo ordinario se deberán analizar los siguientes parámetros universales:

- ✓ Caudal
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅, 20)
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ✓ Potencial de Hidrógeno (pH)
- ✓ Grasas y Aceites (GyA)
- ✓ Sólidos Sedimentables (SSed)
- ✓ Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- ✓ Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)
- ✓ Temperatura (T)

Artículo 15. Parámetros complementarios de análisis obligatorio en aguas residuales de tipo especial. Además de los parámetros mencionados en el artículo anterior, en las aguas residuales de tipo especial se deberán analizar también los parámetros complementarios indicados para cada tipo de actividad.

En la Tabla 4 se muestran los parámetros complementarios a analizar para los efluentes que incluyen cualquier tipo de actividad hospitalaria

Tabla 4: Parámetros complementarios para análisis de aguas residuales de tipo especial

CIUU	Actividad	Parámetros
85110	Actividades Hospitalarias	Coliformes Termotolerantes, Color, Fenoles, Metales Pesados*

Fuente: Gaceta, 2007

*Metales pesados: El grupo de metales a analizar serán definidos por el Ministerio de Salud, con base en la información sobre los insumos y procesos utilizados por el ente generador.

En el Capítulo III del presente Decreto están determinados los límites para el vertido de aguas residuales.

Artículo 20. Límites para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor. Parámetros universales de análisis obligatorio. Los parámetros obligatorios universales de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor, deberán cumplir con los límites contenidos en la Tabla 5 dada a continuación.

Tabla 5: Límites máximos permisibles de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor

Parámetro	Límite Máximo
DBO	50 mg/L
DQO _{5, 20}	150 mg/L
Sólidos Suspendidos	50 mg/L
Grasas/Aceites	30 mg/L
Potencial Hidrógeno	5 a 9
Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C
Sólidos Sedimentables	1 mL/L
Sustancias Activas al Azul de Metileno	5 mg/L

Fuente: Gaceta, 2007

Artículo 21. Límites para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor. Parámetros complementarios de análisis obligatorio. Los parámetros complementarios de análisis obligatorio de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor deberán cumplir con los límites contenidos en la Tabla 6 dada a continuación.

Tabla 6: Límites permisibles de parámetros complementarios de aguas residuales

Parámetro	Límite Máximo
Coliformes Termotolerantes	(1 x 10 ³) NMP/100 mL
Color	15% *
Fenoles	1 mg/L
Arsénico	0.1 mg/L

Fuente: Gaceta, 2007

*De acuerdo al método espectrofotométrico para el color del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"

3.6.3 Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EEUU (EPA)

Las limitaciones y directrices de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA) por sus siglas en inglés (Environmental Protection Agency) Parte 460.12 - categoría de efluentes que representan el grado de reducción que se puede obtener mediante la aplicación de la mejor tecnología de control práctico actualmente disponible (EPA, 2003).

Salvo lo dispuesto en 125.30 a 125.32 cualquier fuente puntual existente sujeta en esta subparte, deberá lograr las siguientes limitaciones de efluentes que representan el grado de reducción de efluentes que se puedan obtener mediante la aplicación de la mejor tecnología de control actualmente disponible (EPA, 2003).

Las siguientes limitaciones de la Tabla 7 establecen la cantidad o calidad de los contaminantes o propiedades de los contaminantes, controladas por este párrafo, que pueden ser descargadas de la fuente puntual del hospital sujeta a las disposiciones de este párrafo después de la aplicación de la mejor tecnología de control factible actualmente disponible (EPA, 2003).

Tabla 7: Limitaciones y directrices del grado de reducción de los efluentes

Características de los Efluentes	Limitaciones de los Efluentes	
	Máximo por un día	La desviación de los valores diarios por 30 días consecutivos no excederá
Unidades Métricas (kg/1000 camas ocupadas)		
DBO₅	4.0	33.6
SST	55.6	33.8
pH	6 - 9	
Unidades Inglesas (lb/1000 camas ocupadas)		
DBO₅	90.4	74.0
SST	122.4	74.5
pH	6 - 9	

Fuente: Environmental Protection Agency (EPA), 2003

3.6.4 Legislación española para aguas residuales

Los parámetros máximos permisibles para aguas residuales establecidos en el Decreto 57/2005 de 30 de junio, por el que se revisan los Anexos de la Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre Vertidos Líquidos Industriales al Sistema Integral de Saneamiento en España.

En la Tabla 8 se muestran los valores máximos permisibles para los parámetros de calidad de las aguas residuales hospitalarias.

Tabla 8: Valores máximos instantáneos

Parámetro	Unidades	Valores Máximos Instantáneos
Temperatura	°C	40
pH	Unid. de pH	6 - 10
DBO ₅	mg/L	1000
DQO	mg/L	1750
Sólidos en Suspensión	mg/L	1000
Aceites y Grasas	mg/L	100
Cianuros Totales	mg/L	5
Cloruros	mg/L	2000
Conductividad	mg/L	7500
Detergentes Totales	mg/L	30
Fluoruros	mg/L	15
Sulfatos	mg/L	1000
Sulfuros	mg/L	5
Toxicidad	Equitox/m ³	25
Compuestos Organohalogenados y Sustancias que se Puedan Originar en el Agua		
Organohalogenados Adsorbibles (AOX)	mg Cl/L	5
Trihalometanos, total	mg/L	2,5
Hidrocarburos Persistentes y Sustancias Orgánicas Tóxicas y Bioacumulables		
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno)	mg/L	5
Fenoles Totales	mg/L	1,5
Hidrocarburos Totales	mg/L	2

Parámetro	Unidades	Valores Máximos Instantáneos
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH)	mg/L	1
Hidrocarburos Totales	mg/L	20
Metales y sus Compuestos		
Aluminio	mg/L	20
Arsénico	mg/L	1
Bario	mg/L	20
Boro	mg/L	3
Cadmio	mg/L	0,5
Cobre	mg/L	3
Cromo Hexavalente	mg/L	1
Cromo Total	mg/L	3
Estaño	mg/L	2
Hierro	mg/L	10
Manganeso	mg/L	2
Mercurio	mg/L	0,1
Níquel	mg/L	5
Plata	mg/L	1
Plomo	mg/L	1
Selenio	mg/L	1
Zinc	mg/L	3
Tóxicos Metálicos	mg/L	5
Sustancias que Contribuyen a la Eutrofización		
Fósforo Total	mg P/L	40
Nitrógeno Total	mg N/L	125

Fuente: Verlicchi (2017)

IV. HOSPITAL NILDA PATRICIA VELASCO

El 04 de Noviembre del año 2000 se inauguró en Managua el moderno hospital Nilda Patricia Velasco, el cual fue construido con donaciones realizadas por el gobierno de México. El hospital lleva el nombre de la primera dama mexicana, Nilda Patricia Velasco de Zedillo, y está ubicado en el populoso municipio de Ciudad Sandino.

El hospital fue edificado utilizando parte de una ayuda financiera de 2.9 millones de dólares recibida del gobierno del expresidente mexicano Ernesto Zedillo Ponce de León, a raíz de la tragedia provocada en Nicaragua por el huracán "Mitch", que asoló varios países de Centroamérica a finales del año 1998 y que dejó cuantiosos daños humanos y materiales.

El centro de la ciudad está ubicado a 12 km de Managua, capital de Nicaragua, con una extensión territorial de 51 km², de los cuales el 76% es área rural y el 24% urbana, la población actual total es de 117,854 habitantes, sin embargo, el 96% de la población vive en la región urbana. El municipio está dividido territorialmente en 37 localidades, entre ellas 5 rurales y un área urbana dividida en 32 localidades entre barrios, residenciales y asentamientos.

El hospital primario cuenta con buena instalación física, donde funciona la unidad de salud cabecera del municipio y el centro Oftalmológico Sandino. Las actividades del Centro de Salud están dirigidas principalmente a atender todos los Programas de Atención Primaria del MINSA como: Vigilancia y Promoción del Crecimiento y Desarrollo (VPCD), Puerperio, Control Prenatal (CPN), Inmunización, Control de Fertilidad, Tuberculosis (TB), Psicología, Psiquiatría, Trabajo Social, Epidemiología, Higiene y Zoonosis, Atención a Dispensarizados, Fisioterapia, morbilidad general y atención de parto de bajo riesgo.

El centro cuenta con 70 camas, un moderno quirófano, salas de consultas y anexos. En él se pueden atender hasta 470 personas al día, con una atención promedio de 48 personas por cada médico general y 32 por cada especialista en lo que va de lunes a viernes en un turno regular de 8 am a 4 pm. En los días sábado y domingo se pueden atender hasta 300 personas en lo que corresponde al área de emergencia el cual trabaja las 24 horas del día, donde se reciben casos especiales de intervención inmediata.

4.1 Gestión actual de las aguas residuales

En el hospital las aguas residuales requieren de especial atención debido a que dichas aguas contienen sustancias peligrosas como residuos farmacéuticos, químicos y patológicos representando un riesgo para la salud pública y ambiental.

Anteriormente las aguas eran descargadas en varias pilas sépticas ubicadas en el hospital sin recibir ningún tratamiento *in situ*, las que actualmente se deshabilitaron para conducir los efluentes al sistema de alcantarillado público; en donde también se presenta contaminación cruzada (leve) entre las aguas residuales y los desechos sólidos.

Es por ello que es importante adoptar acciones adecuadas para prevenir o controlar los impactos negativos que pueden poner en riesgo la salud de la población antes de su descarga en el colector municipal, a través de una apropiación adecuada de un sistema de tratamiento, de la selección de cada operación y proceso unitario correspondiente a la calidad del efluente producido con el fin de permitir una gestión ambiental, tal que su disposición cumpla con las normas de vertidos y se logren remover los componentes indeseables.

Se consumen grandes volúmenes de agua por día generándose así otro similar de agua residual, también tomando en cuenta las fugas constantes en las instalaciones de aguas como grifos, inodoros incluso en los tanques de almacenamiento de agua potable cuando estos sobrepasan su capacidad.

El hospital no cuenta con medidas para el buen uso del agua potable a pesar de que no se tiene un abastecimiento constante del recurso en las instalaciones, es por ello que optan por tener siete cisternas que son llenadas durante las horas que hay disponibilidad del agua potable para que posteriormente abastezcan todas las áreas del hospital brindando la atención necesaria a cada paciente y la disponibilidad del recurso. A su vez, no se cuenta con una gestión y eliminación adecuada de los desechos sólidos debido a que el incinerador se encuentra dañado presentándose así una acumulación de desechos patológicos, infecciosos, punzantes, etc., durante ocho días.

V. METODOLOGÍA

Se presenta la metodología que fue aplicada para el desarrollo del trabajo de tesis, desde la cuantificación del caudal, recolección de datos, sitios de muestreos seleccionados, así como, cada uno de los materiales y equipos implementados durante la fase experimental con el fin de identificar la calidad de los efluentes provenientes de las áreas del hospital Nilda Patricia Velasco, así mismo, los criterios de selección y diseño tecnológico del sistema de tratamiento para los balances correspondientes en cada una de las etapas de tratamiento.

5.1 Tipo de Estudio

Primeramente, la investigación fue de tipo experimental ya que se necesitaron realizar los análisis y mediciones de los contaminantes presentes en los efluentes hospitalarios y de esta manera se logró caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente las aguas residuales provenientes del hospital estudiado.

De igual forma se consideró este trabajo como investigativo por la búsqueda profunda de datos e información con los que se logró determinar la mejor selección de tratamiento; así también para la búsqueda de los valores tabulados de remoción en cada una de las etapas del sistema de tratamiento elegido.

Con respecto a la toma y procesamiento de datos se determinó que este trabajo es de tipo cuantitativo debido al manejo y utilización de valores obtenidos tanto en los análisis como en el diseño del sistema propuesto.

Finalmente, la investigación también se especificó como cualitativa ya que para un desarrollo completo del trabajo fue necesaria la recolección de una serie de información que permitió una descripción general del hospital y la elaboración de las recomendaciones de gestión para minimizar el consumo de agua en todas las áreas del centro.

5.2 Universo

El universo de la presente investigación abarco a todos los hospitales en los cuales no existe un sistema de tratamiento de aguas residuales y que por lo tanto se ven obligados a descargar dichas aguas en el alcantarillado sanitario y en muchos casos directamente en cuerpos de agua cercanos.

5.3 Población

La población de este trabajo fue el centro hospitalario Nilda Patricia Velazco ubicado en el municipio de Ciudad Sandino, el cual se seleccionó por el hecho de no contar con un sistema de depuración para sus aguas residuales y por albergar a un gran número de pacientes al día lo que significa un alto volumen de aguas residuales descargadas diariamente en el alcantarillado sanitario.

5.4 Determinación del Caudal a ser Tratado

Se localizaron los diferentes canales de efluentes en todas las áreas del hospital para lograr estimar a través del método volumétrico el flujo de descarga. La medición de este mismo fue realizada en los canales de salida (Figuras 9 y 10) los que seguidamente conectan al alcantarillado sanitario, esto para tener una noción del caudal de los tres muestreos efectuados, mismo que fue utilizado para el diseño del sistema de tratamiento.

Se utilizó un recipiente con capacidad de 1 L y un cronómetro, registrando los tiempos de llenado de dicho recipiente cada vez que se tomaban las submuestras.



Figura 9: Línea 1



Figura 10: Línea 2

5.4.1 Método volumétrico

Esta fue la forma más sencilla para calcular los caudales pequeños, en este se midió directamente el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de volumen conocido. En donde la corriente se descargó en el recipiente de tamaño adecuado y el tiempo que demora su llenado fue medido por medio de un cronometro.

Dicho tiempo que tardó en llenarse se midió con precisión, especialmente cuando fue de unos pocos segundos. Las pequeñas variaciones entre las mediciones efectuadas sucesivamente dieron una indicación de la precisión de los resultados.

5.5 Caracterización de los Efluentes Hospitalarios

Para determinar la calidad de los efluentes se ubicaron las zonas o puntos en donde se descargan las aguas residuales hacia el alcantarillado sanitario del municipio, lugares donde convergen y se mezclan todos los efluentes de las diversas áreas de atención del centro hospitalario, y se tomaron las muestras necesarias que permitieron caracterizar dichas aguas a partir de los análisis correspondientes. En la Figura 11 se muestra un esquema de los puntos de descarga utilizados para la toma de muestras y medición de caudal.

La caracterización abarcó los análisis físico-químicos y microbiológicos de todos los parámetros mostrados en la Tabla 9 de las aguas residuales hospitalarias, cuyas muestras posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) y entregadas en los laboratorios Ambientales del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA).

Según el Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales, “Para la caracterización de las aguas residuales la obtención de las muestras se desarrollará bajo el esquema de muestra compuesta” (Decreto No. 21-2017, pp. 15-16). Debido a limitaciones académicas y económicas se realizaron tres muestreos durante el periodo de Diciembre 2018, Enero y Febrero 2019 para la obtención de las muestras representativas de las cuales el volumen de muestra fue tomado a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de muestra (mL)} = \frac{\text{Volumen necesario (mL)}}{\text{horas de muestreo}} \quad (1)$$

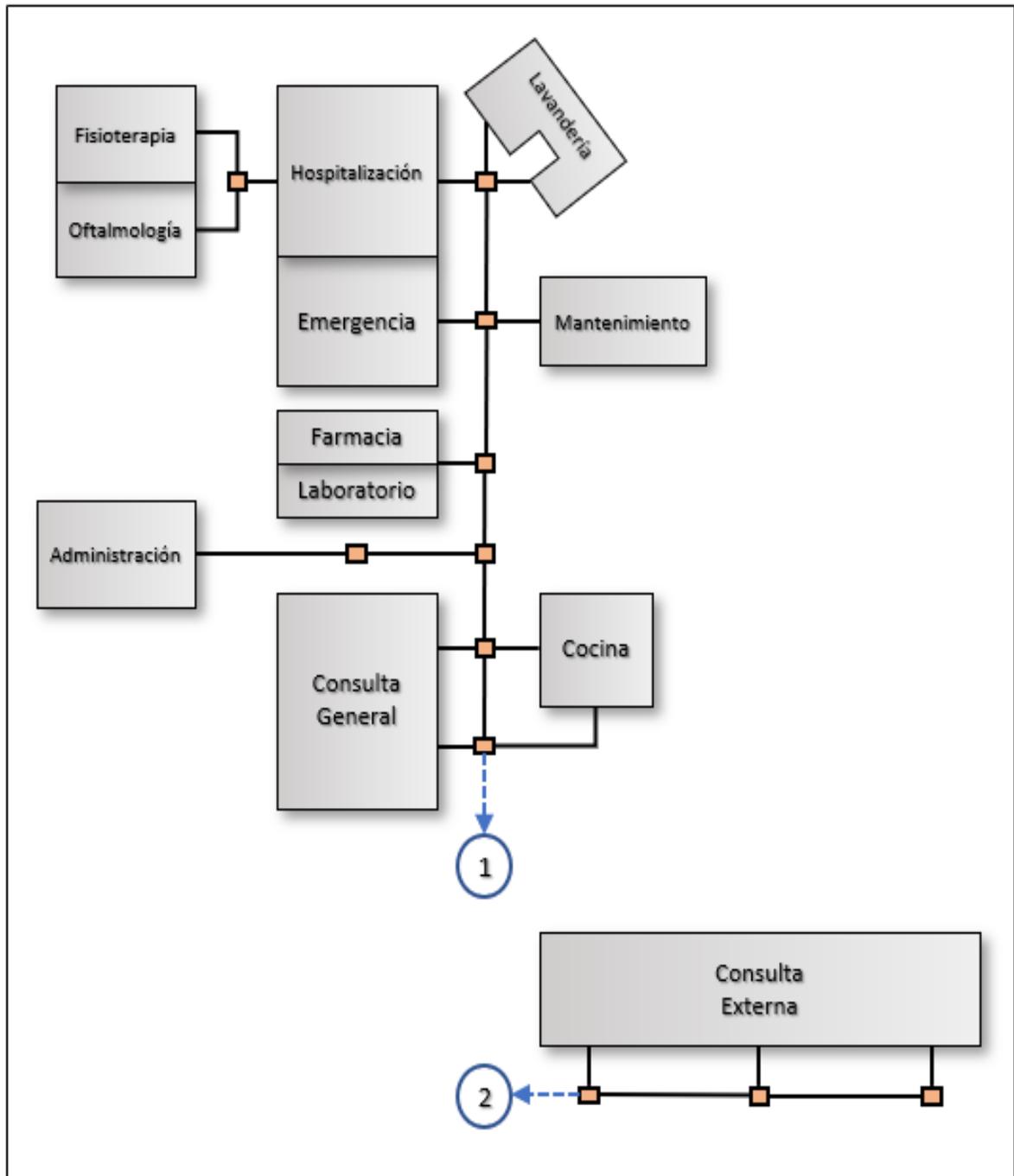


Figura 11: Esquema de muestreo

La muestra estuvo constituida por la mezcla homogénea de ocho submuestras de 750 mL tomadas a cada hora para un volumen total de 6 L durante un periodo de ocho horas correspondientes al periodo total de un día de trabajo en el hospital.

En la toma de muestras de agua se emplearon envases de plástico o vidrio previamente esterilizados y rotulados. Se garantizó una preservación adecuada inmediatamente después de la toma de muestras en las condiciones necesarias para el análisis de cada parámetro.

Tanto los análisis como la preservación de las muestras se realizaron conforme a los procedimientos establecidos en el Standard Methods (SM) for the Examination of Water and Wastewater (2012) y el Manual de Procedimientos HACH (2000). En los análisis In-situ se obtuvo información durante la toma de muestras a través de fichas de campo como se observa en el Anexo B, durante los análisis de laboratorio se realizaron dos replicas por cada parámetro y con el fin de aumentar la confiabilidad de los análisis se les aplicó la medida de tendencia central y de dispersión como:

Media (\bar{X}): Medida representativa de un conjunto de números que denota el promedio.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i n_i}{n} \quad (2)$$

Donde: x_i : Datos de la muestra, n_i : Numero de muestras, n : Número total de muestras.

Varianza (σ^2): Cuadrado medio de las desviaciones con respecto a la media aritmética.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) n_i}{n} \quad (3)$$

Desviación Estándar (σ): Medida de dispersión que expresa la raíz cuadrada de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (4)$$

En la Tabla 9 se resumen los parámetros medidos y la principal información sobre las pruebas de laboratorio como los métodos de análisis que están descritos en el Anexo A, el tipo de envase que se empleó para la toma de muestras, las condiciones en las que estas se almacenaron, entre otros.

Tabla 9: Parámetros y métodos de análisis

Parámetros	Tipo de Envase	Lugar de Medición	Conservación	Tiempo Máximo de Espera	Métodos
Color	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C	48 h	Espectrometría HACH-8025
Temperatura	Plástico o Vidrio	<i>In situ</i>	No se requiere	Analice inmediatamente	Termómetro
pH	Plástico o Vidrio	<i>In situ</i>	No se requiere	Analice inmediatamente	pH-metro HACH
Sólidos Suspendidos Totales	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C	24 h	SM 2540-D
Sólidos Sedimentables	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C	24 h	SM 2540-F
DBO ₅	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C	48 h	Oxitop
DQO	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	48 h	Digestión de reactor - 8000 HACH
Aceites y Grasas Totales	Vidrio	Laboratorio	4°C, HCl o H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 días	SM 5520-D

Parámetros	Tipo de Envase	Lugar de Medición	Conservación	Tiempo Máximo de Espera	Métodos
Materia Flotante	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C	2 h	SM 2530-B
Sustancias Activas al Azul de Metileno	Plástico	Laboratorio	4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	7 días	SM 5540-C
Arsénico	Plástico o Vidrio	Laboratorio	pH ≤ 2	6 meses	Dietilditiocarbamato de Plata 8013 - HACH
Coliformes Termotolerantes	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	6 h	Método de Filtrado de Membrana
Coliformes Totales	Plástico o Vidrio	Laboratorio	4°C, 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	6h	Método de Filtrado de Membrana
Nitrógeno Total	Plástico o Vidrio	Laboratorio	Frío 4°C, H ₂ SO ₄ a pH < 2	28 días	Método Nessler 8075
Fósforo Total	Plástico o Vidrio	Laboratorio	Frío 4°C, H ₂ SO ₄ a pH = 2	28 días	Método 8190, HACH

Fuente: Clesceri et al, 1998; HACH, 2000

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

5.6 Diseño y Selección del Tipo de Tratamiento

Posterior a la estimación del caudal y la caracterización físico-química y microbiológica de los distintos efluentes se seleccionó el sistema de tratamiento, el cual dependió de varios factores para su apropiada selección, uno de estos factores que se tomó en cuenta es el Índice de Biodegradabilidad (IB) de los residuos líquidos con las concentraciones halladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), a partir de la Ecuación (5):

$$IB = \frac{DBO}{DQO} \quad (5)$$

Es importante conocer el Índice de Biodegradabilidad (IB) de los afluentes de aguas residuales, ya que este afectaría considerablemente la calidad del efluente de la planta de tratamiento. Para la estimación de esta relación se aplicaron los siguientes criterios:

$$\frac{DBO}{DQO} > 0.6 \quad (6)$$

Los residuos son bastante biodegradables y pueden tratarse con eficacia de manera biológica (Abdalla & Hammam, 2014).

$$0.3 < \frac{DBO}{DQO} < 0.6 \quad (7)$$

Si la relación está entre 0.3 y 0.6, entonces se requiere la siembra para tratarla biológicamente, porque el proceso será relativamente lento, ya que la aclimatación de los microorganismos que ayudan en el proceso de degradación lleva su tiempo (Abdalla & Hammam, 2014).

$$\frac{DBO}{DQO} < 0.3 \quad (8)$$

La biodegradación no se producirá, por lo tanto, no se puede tratar biológicamente, ya que las aguas residuales generadas por estas actividades inhiben la actividad metabólica de las semillas bacterianas debido a su toxicidad o propiedades refractarias (Abdalla & Hammam, 2014). Una vez conocida esta

relación, se procedió a decidir entre el tratamiento fisicoquímico o biológico según la conveniencia para el tipo de efluente en estudio.

5.7 Balance de Contaminantes

Ya determinado el tipo y las unidades de tratamiento se procedió a la realización del balance de contaminantes en cada una de las unidades propuestas, para esto se utilizaron los parámetros de la Tabla 10 para aguas residuales hospitalarias establecidos en el Decreto 21-2017 de la legislación nicaragüense, las limitaciones establecidas en la Parte 460.12 de las Normas de la Agencia de protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA), en el Reglamento para el control del vertimiento de líquidos residuales de la República Argentina (Resolución N°1089/82) y el Decreto N° 33601 Reglamento de Vertido y Reúso de aguas Residuales de la República de Costa Rica para comparar las concentraciones de los parámetros en la salida de la última etapa del tratamiento; así mismo se indicó la eficiencia por cada una de las etapas y del sistema total.

El balance de contaminantes, así como la eficiencia teórica se calculó haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_e - C_s}{C_s} \quad (9)$$

Donde:

C_e = Concentración de entrada

C_s = Concentración de salida

Tabla 10: Valores máximos permisibles

Tipos de Parámetros	Parámetros	Decreto 21-2017 Art. 27	Decreto 33601	Norma EPA	Resolución N°1089/82	
Organolépticos	Color	-	15%*	-		
Fisicoquímicos	Temperatura	-	15°C ≤ T ≤ 40°C	-	45°C	
	pH	6 - 9	5 - 9	6 - 9	7.5 < pH < 8.5	
	Sólidos Suspendidos Totales	50 mg/L	50 mg/L	55.6 mg/camas ocupadas	60 mg/L	
	Sólidos Sedimentables	1 mL/L	1 mL/L	-	-	
	DBO ₅	60 mg/L	50 mg/L	4.0 mg/camas ocupadas	50 mg/L	
	DQO	120 mg/L	150 mg/L	-	125 mg/L	
	Aceites y Grasas Totales	20 mg/L	30 mg/L	-	50 mg/L	
	Materia Flotante	Ausente	-	-	-	
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	-	5 mg/L	-	3 mg/L	
	Arsénico	-	0.1 mg/L	-	500 µg/lAr	
	Nitrógeno Total	-	-	-	15 mg/L	
	Fósforo Total	-	-	-	2 mg/L	
	Microbiológicos	Coliformes Termotolerantes	-	1000 NMP/100mL	-	1000 NMP/100mL
		Coliformes Totales	-	-	-	5000 NMP/100mL

*De acuerdo al método espectrofotométrico para el color del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"

5.8 Recomendaciones de Gestión Ambiental

La reducción del consumo de agua es un proceso complejo que requiere de una estrategia la cual debe ser planificada, ejecutada y evaluada, es por ello que la elaboración de dicho plan de gestión se llevó a partir de las siguientes etapas:

- ✓ Análisis de la situación inicial
- ✓ Medidas a implementar
- ✓ Evaluación

En la primera etapa se efectuó una inspección a fondo para identificar todos los problemas que representan un consumo innecesario del recurso agua y una producción elevada en el volumen de los efluentes en cada actividad que se realiza dentro del centro.

Luego de la identificación de la problemática, se elaboró una propuesta de mejora con una serie de medidas correctoras, las cuales tienen como objetivo principal mitigar o reducir lo más posible el gasto diario de agua en cada una de las áreas del hospital, contribuyendo en gran parte a una labor más eficiente por parte de los trabajadores.

Finalmente se procedió a la evaluación rápida de las mejoras propuestas, en la cual se pretendió analizar las ventajas e inconvenientes que conlleva la implementación de dichas mejoras. Este análisis permitió decidir de manera más fácil si es conveniente o no el seguimiento de las propuestas realizadas.

5.9 Certitud Metódica

En la Tabla 11 se muestra de manera general la forma de cumplimiento de cada uno de los objetivos de este trabajo.

Tabla 11: Certitud metódica

Objetivo General	Objetivos Específicos	Información		Métodos y Herramientas	Resultados	
		Unidades de Análisis	Variables		Parciales	Final
Diseñar un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Primario Nilda Patricia Velasco de Zedillo en el municipio de Ciudad Sandino durante el periodo Diciembre 2018 – Febrero 2019.	1. Cuantificar los caudales de las diferentes áreas del hospital.	Cantidad de aguas residuales descargadas.	Caudal de Aguas Residuales (m ³ /s)	Métodos Generales: <ul style="list-style-type: none"> Métodos volumétricos Método del medidor de flujo Herramientas: <ul style="list-style-type: none"> Recipientes con medida Medidor de flujo Cronómetro 	Determinación de los caudales individuales y total en cada zona de medición.	Diseño de un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Nilda Patricia Velasco de Zedillo.
	2. Caracterizar física, química y microbiológicamente e los efluentes generados en cada punto de descarga localizado.	Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua.	Los descritos en la Tabla 10	Métodos Generales: <ul style="list-style-type: none"> Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Manual de procedimientos HACH Herramientas: <ul style="list-style-type: none"> Equipo de laboratorio 	Caracterización de los efluentes hospitalarios.	

Objetivo General	Objetivos Específicos	Información		Métodos y Herramientas	Resultados	
		Unidades de Análisis	Variable		Parciales	Final
Diseñar un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Primario Nilda Patricia Velasco de Zedillo en el municipio de Ciudad Sandino durante el periodo Diciembre 2018 – Febrero 2019.	3. Elaborar una propuesta de tratamiento para reducir la carga de contaminantes en los efluentes hospitalarios.	Etapas y unidades del sistema de tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia del sistema • Accesibilidad a las tecnologías 	Se realizará con la ayuda de los criterios de diseño y porcentajes de remoción encontrados en la literatura.	Propuesta de diseño de cada etapa y unidad del sistema de tratamiento.	Diseño de un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Nilda Patricia Velasco de Zedillo.
	4. Efectuar el balance de contaminantes de acuerdo a cada operación y proceso unitario involucrado en el sistema de tratamiento propuesto.	Valores finales de calidad del agua después del tratamiento.	Los descritos en la Tabla 10	Utilizando los valores de remoción, se comparan las concentraciones finales del efluente con los valores establecidos en las normas. (Tabla 10)	Obtener un agua con valores de calidad por debajo de los establecidos en las normas.	

Objetivo General	Objetivos Específicos	Información		Métodos y Herramientas	Resultados	
		Unidades de Análisis	Variable		Parciales	Final
Diseñar un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Primario Nilda Patricia Velasco de Zedillo en el municipio de Ciudad Sandino durante el periodo Diciembre 2018 – Febrero 2019.	5. Realizar un plan de gestión para el buen uso del agua en cada una de las áreas de los servicios sanitarios.	Recomendaciones para la minimización del uso y consumo de agua.	Volumen de agua utilizada y cantidad de desechos segregados.	Métodos Generales: <ul style="list-style-type: none"> Análisis de la situación Revisión bibliográfica 	Reducción del uso y consumo de agua y mejora en la segregación de desechos.	Diseño de un sistema de tratamiento para los desechos líquidos del Hospital Nilda Patricia Velasco de Zedillo.

VI. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos correspondientes a cada uno de los objetivos propuestos que conllevarán a un análisis en el siguiente capítulo para una confiabilidad y aceptación de esta investigación. Se presentan los caudales medidos de cada una de las líneas de salida de aguas residuales, los resultados de los análisis físicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales, la propuesta de tecnología de tratamiento con sus cálculos y remociones de contaminantes en cada una de las etapas, así como los hallazgos para una buena gestión ambiental.

6.1 Cuantificación del Caudal Total

En la estimación del caudal se aplicó el método volumétrico en cada uno de los canales de salidas por ser la forma más sencilla y confiable de calcular los caudales pequeños, en las Tablas 12 y 13 se reportan las mediciones de caudales de los tres muestreos de la Línea 1 y Línea 2 realizadas durante un periodo de ocho horas.

Tabla 12: Valores de caudales obtenidos, línea 1

Hora	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
	Q (L/h)		
10:00	345.95	738.46	642.04
11:00	336.00	763.64	715.07
12:00	327.27	845.45	808.16
13:00	576.00	686.84	870.00
14:00	626.87	586.96	751.08
15:00	556.91	632.73	845.45
16:00	681.55	663.16	452.83
17:00	494.51	514.29	514.29
Promedio Q (L/h)	493.13	678.94	700

Tabla 13: Valores de caudales obtenidos, línea 2

Hora	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
	Q (L/h)		
10:00	227.67	920.30	214.93
11:00	463.16	780.00	225.00
12:00	267.43	751.30	1002.06
13:00	391.84	561.47	417.39
14:00	447.06	607.50	314.29
15:00	410.87	281.93	1338.46
16:00	384.00	270.00	1224.00
17:00	266.67	276.92	351.22
Promedio Q (L/h)	357.34	556.18	635.92

6.2 Caracterización del Agua Residual Hospitalaria

Se realizaron los análisis correspondientes para la cuantificación del nivel de contaminación de los efluentes líquidos del hospital en estudio, en las Tablas 14 y 15 se resumen los resultados obtenidos en los análisis In situ y de laboratorio.

Por el tipo de agua residual (aguas negras) se analizaron 16 parámetros universales establecidos, estos datos corresponden a los tres muestreos efectuados en las líneas de descargas, a su vez a todas las variables se les estimó el promedio y la desviación estándar.

En la Tabla 16 se exponen los valores finales tomados de las mediciones de la calidad física, química y microbiológica del agua residual en comparación con los valores permisibles establecidos en las legislaciones nacionales y extranjeras, estos valores serán con los que se trabajará el diseño del sistema de tratamiento.

La discusión de los resultados y propuesta de tratamiento se realizó con los valores mayores obtenidos siendo los datos de la línea 1 la que presentó las concentraciones más altas de contaminación en su mayoría. Si bien es cierto las líneas 1 y 2 se mezclarán para su tratamiento y la carga contaminante total disminuirá, pero tomando en cuenta que el hospital crecerá en infraestructura, se decidió trabajar con los valores mayores de contaminantes entre las dos líneas.

El análisis para la determinación de la calidad del efluente en función de los parámetros de las legislaciones se indica en la Tabla 17, a fin de establecer cuáles son los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que deberán ser tratados por no estar acorde con lo expuesto en la norma.

Tabla 14: Resultados de análisis, línea 1

Parámetro	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio	Desviación	Varianza
Color	Pt-Co	65.00	176	231.5	157.50	84.80	7187.25
T	°C	30.70	29.25	29.5625	29.84	0.764	0.58
pH	-	8.92	8.1625	8.03625	8.37	0.481	0.23
Solidos Suspendidos	mg/L	60.00	84	64	69.33	12.86	165.33
Solidos Sedimentables	mL/L	0.59	0.7375	1.42625	0.92	0.44	0.20
DBO	mg/L	171.185	168.84	160.465	166.83	5.64	31.76
DQO	mg/L	255.50	252	239.5	249.00	8.41	70.75
Aceites y Grasas	mg/L	3.4	4.9	-	4.15	1.06	1.13
Materia Flotante	-	Presente	Presente	Presente	-	-	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	3.348	4.556	-	3.95	0.856	0.73
Arsénico	mg/L	< 0.001	< 0.001	-	0	0	0
Nitrógeno Total	mg/L	46.66	31.21	-	38.94	10.92	119.35
Fósforo Total	mg/L	1.103	1.986	-	1.54	0.624	0.39
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1.10 x 10 ⁴	5.40 x 10 ⁶	-	2.71 x 10 ⁶	3.81 x 10 ⁶	1.45 x 10 ¹³
Coliformes Totales	NMP/100 mL	3.50 x 10 ⁴	9.20 x 10 ⁶	-	4.62 x 10 ⁶	6.48 x 10 ⁶	4.20 x 10 ¹³

Tabla 15: Resultados de análisis, línea 2

Parámetros	Unidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio	Desviación	Varianza
Color	Pt-Co	35.00	58	118	70.33	42.9	1836.33
pH	-	8.92	7.7975	7.83875	8.19	0.641	0.41
T	°C	30.70	30.25	30.15	30.37	0.293	0.09
Sólidos Suspendidos	mg/L	154.00	74	198	142.00	62.9	3952.00
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.15	1.87625	0.2825	0.77	0.958	0.92
DBO	mg/L	207.03	45.56	110.55	121.05	81.2	6600.78
DQO	mg/L	309.00	68	165	180.67	121.3	14704.33
Aceites y Grasas	mg/L	2.1	1.5	-	1.80	0.424	0.18
Materia Flotante	-	Presente	Presente	Presente	-	-	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	0.221	0.146	-	0.18	0.053	0.003
Arsénico	mg/L	< 0.001	< 0.001	-	0	0	0
Nitrógeno Total	mg/L	21.1	9.96	-	15.53	7.88	62.05
Fósforo Total	mg/L	0.284	6.896	-	3.59	4.67	21.86
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	0	9.20 x 10 ⁶	-	4.60 x 10 ⁶	6.51 x 10 ⁶	4.23 x 10 ¹³
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0	1.60 x 10 ⁷	-	8.00 x 10 ⁶	1.13 x 10 ⁷	1.28 x 10 ¹⁴

Tabla 16: Comparación de datos de calidad con valores máximos permisibles

Parámetros	Promedio	Rangos y Valores Máximos Permisibles			
		Decreto 21-2017	Decreto 33601	Norma EPA	Resolución N° 1089/82
Color	<u>157.50</u>	-	15%*	-	-
Temperatura	30.37	-	15°C ≤ T ≤ 40°C	-	45°C
pH	8.37	6 - 9	5 - 9	6 - 9	7.5 < pH < 8.5
Sólidos Suspendidos Totales	<u>142</u>	50 mg/L	50 mg/L	55.6 mg/camas ocupadas	60 mg/L
Sólidos Sedimentables	0.92	1 mL/L	1 mL/L	-	-
DBO ₅	<u>167.83</u>	60 mg/L	50 mg/L	4.0 mg/ camas ocupadas	50 mg/L O ₂
DQO	<u>249</u>	120 mg/L	150 mg/L	-	125 mg/L O ₂
Aceites y Grasas Totales	4.15	20 mg/L	30 mg/L	-	50 mg/L
Materia Flotante	<u>Presente</u>	Ausente	-	-	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno	<u>3.95</u>	-	5 mg/L	-	3 mg/L
Arsénico	0	-	0.1 mg/L	-	500µg/1As
Nitrógeno Total	<u>38.94</u>	-	-	-	15 mg/L N
Fósforo Total	<u>3.59</u>	-	-	-	2 mg/L P
Coliformes Termotolerantes	<u>4.60E+06</u>	-	1000 NMP/100mL	-	1000 NMP/100mL
Coliformes Totales	<u>8.00E+06</u>	-	-	-	5000 NMP/100mL

*De acuerdo al método espectrofotométrico para el color del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"

Tabla 17: Porcentajes de remoción de cada parámetro

Parámetros	Promedio	Rangos y Valores Máximos Permisibles				% Remoción
		Decreto 21-2017	Decreto 33601	Norma EPA	Resolución N° 1089/82	
Color	<u>157.50</u>	-	15%*	-	-	-
Temperatura	30.37	-	15°C ≤ T ≤ 40°C	-	45°C	-
pH	8.37	6 - 9	5 - 9	6 - 9	7.5 < pH < 8.5	-
Sólidos Suspendidos Totales	<u>142</u>	50 mg/L	50 mg/L	55.6 mg/camas ocupadas	60 mg/L	64.79
Sólidos Sedimentables	0.92	1 mL/L	1 mL/L	-	-	-
DBO ₅	<u>167.83</u>	60 mg/L	50 mg/L	4.0 mg/camas ocupadas	50 mg/L O ₂	70.03
DQO	<u>249</u>	120 mg/L	150 mg/L	-	125 mg/L O ₂	51.81
Aceites y Grasas Totales	4.15	20 mg/L	30 mg/L	-	50 mg/L	-
Materia Flotante	<u>Presente</u>	Ausente	-	-	-	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno	<u>3.95</u>	-	5 mg/L	-	3 mg/L	24.09
Arsénico	0	-	0.1 mg/L	-	500µg/1As	-
Nitrógeno Total	<u>38.94</u>	-	-	-	15 mg/L N	61.47
Fósforo Total	<u>3.59</u>	-	-	-	2 mg/L P	44.29
Coliformes Termotolerantes	<u>4.60 x 10⁶</u>	-	1000 NMP/100mL	-	1000 NMP/100mL	99.98
Coliformes Totales	<u>8.00 x 10⁶</u>	-	-	-	5000 NMP/100mL	99.94

*De acuerdo al método espectrofotométrico para el color del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"

6.3 Propuesta de Tratamiento

Se determinó la relación DBO/DQO siendo esta mayor a 0.6 por lo que se seleccionó el proceso biológico como tratamiento principal, ya que a los residuos presentes en el agua se les considera altamente biodegradables y pueden ser tratados fácilmente de manera biológica (Acápite 7.3). Las etapas de tratamiento seleccionadas correspondientes a la línea de agua y la línea de lodos se muestran en la Figura 12.

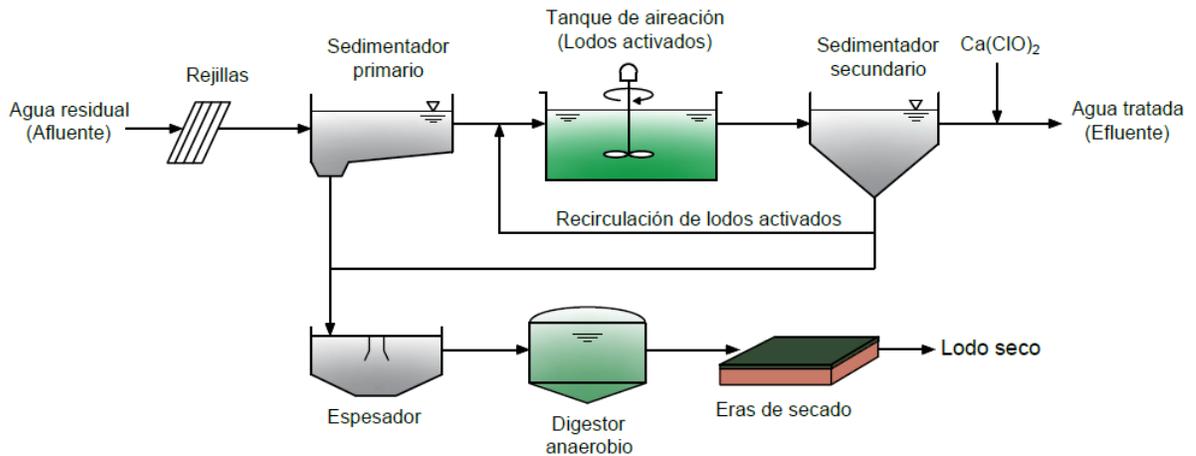


Figura 12: Tren de tratamiento

6.3.1 Etapas y unidades de tratamiento

Se muestran los resultados del diseño y dimensionamiento de cada unidad del proceso de tratamiento del agua residual proveniente del hospital. Los criterios de diseño empleados en este capítulo fueron tomados de García (2017), Metcalf & Eddy (1998) y Rojas (2004).

- Cajón de entrada

La caja disipadora o cajón de entrada es la primera unidad en el sistema de tratamiento, que es donde entra el agua y se inspecciona el estado de esta. Para el diseño del cajón se asumieron los siguientes datos:

- ✓ Distancia entre el fondo de la caja y la entrada = 15 cm
- ✓ Angulo de transición = 12.5°
- ✓ Relación longitud - ancho = 1:1

Tabla 18: Características del cajón de entrada

Parámetro	Unidad	Valor
Área, A	m ²	0.25
Ancho, a	m	0.5
Longitud, L	m	0.5
Altura, H	m	0.5
Distancia de la pantalla, x	m	0.19
Longitud de transición, L _{trans}	m	0.45

- **Canal de entrada**

Se elige transportar el agua mediante un canal rectangular. El canal se dimensionó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Velocidad mínima del agua = 0.6 m/s
- ✓ Coeficiente de Manning = 0.013
- ✓ Pendiente del canal = 1.3%

Tabla 19: Características del canal de entrada

Parámetro	Unidad	Valor
Área, A	m ²	0.15
Ancho, a	m	0.3
Longitud, L	m	2
Altura, H	m	0.5
Profundidad del agua, d	m	0.00445
Pendiente del canal, S	%	1.3

- **Rejillas**

Se seleccionó una rejilla inclinada de limpieza manual y un cribado medio para la separación de sólidos gruesos del agua residual. Las consideraciones más importantes fueron:

- ✓ Ancho de las barras = 10 mm
- ✓ Separación entre barras = 20 mm
- ✓ Angulo de inclinación = 60°
- ✓ Tipo de barra = rectangular
- ✓ Borde libre = 0.25 m

Tabla 20: Características de la rejilla

Parámetro	Unidad	Valor
Número de barras	-	11
Ancho de barras, a	mm	10
Espaciamiento entre barras, s	mm	20
Pérdidas de energía, H	m	0.0113
Altura de la rejilla, H _{rej}	m	0.3
Longitud de la rejilla, L _{rej}	m	0.3
Volumen de material retenido, V _{MR}	L	1.219

- **Sedimentador primario**

Debido al pequeño caudal se tendrá solamente un sedimentador primario con forma rectangular. Se consideraron los siguientes parámetros:

- ✓ Velocidad de carga superficial (Cs) = 30 m³/m²-d
- ✓ Constante para el tipo de material arrastrado (k) = 0.05
- ✓ Diámetro de partícula (d) = 100 μm (100x10⁻⁶ m)
- ✓ Gravedad específica de la partícula (S) = 1.25
- ✓ Factor de fricción de Darcy-Weisbach (f) = 0.025
- ✓ Relación longitud - ancho = 2:1

Tabla 21: Características del sedimentador primario

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal, Q	m ³ /d	53
Área, A	m ²	1.77
Ancho, a	m	1
Longitud, L	m	2
Altura, H	m	2
Volumen, V	m ³	4
Tiempo de retención, t _R	h	2
Velocidad horizontal, V _h	m/s	2.6 x 10 ⁻⁴
Velocidad de arrastre, V _H	m/s	0.063

- **Tanque de aireación**

Se diseñó un tanque de aireación donde se llevará a cabo el proceso de lodos activados, para esto se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- ✓ Caudal del afluente = 53 m³/d
- ✓ DBO del afluente = 168 mg/L
- ✓ SST del afluente = 142 mg/L
- ✓ DBO en el efluente ≤ 20 mg/L
- ✓ SST en el efluente ≤ 24 mg/L

Parámetros operacionales considerados:

- ✓ Tiempo de residencia $\theta_c = 10$ días
- ✓ MLSS = 3000 mg/L
- ✓ MLVSS = 2400 mg/L
- ✓ SSV/SST = 0.8
- ✓ SST en el RAS = 9300 mg/L
- ✓ DBO₅/DBOU = 0.67
- ✓ Relación longitud - ancho = 2:1
- ✓ Una eliminación de DBO₅ y SST en el sedimentador primario de 34% y 56% respectivamente.

Tabla 22: Características del tanque de aireación

Parámetro	Unidad	Valor
Eficiencia del tratamiento	%	95.35
Volumen, V	m ³	7.3
Área, A	m ²	4.87
Ancho, a	m	1.56
Longitud, L	m	3.12
Altura, H	m	2
Caudal de entrada, Q	m ³ /d	52.84
DBO ₅ de entrada	mg/L	111.1
SST de entrada	mg/L	62.64
Lodos a purgar	kg/d	0.927
Relación de recirculación, α	-	0.476
Caudal de recirculación Q _r	m ³ /d	25.15
Caudal de lodos, Q _{wa}	m ³ /d	0.31
Tiempo de retención, θ	h	6
Aire necesario	m ³ /d	263.13
	m ³ aire/m ³ agua	4.98
Potencia del Blower, P _w	kW	0.36

- **Sedimentador secundario**

Se tendrá un clarificador secundario donde se sedimentarán los sólidos suspendidos en el agua y del cual se enviará el caudal de retorno hacia el tanque de aireación. Se tienen los siguientes parámetros a considerar en el diseño:

- ✓ Relación SSV/SST = 0.8
- ✓ Máxima concentración de sólidos en el tanque = 7000 mg/L
- ✓ Tiempo de almacenamiento de los tanques = 2 días
- ✓ Altura de agua clara = 1.5 m
- ✓ Borde libre = 0.3 m

Tabla 23: Características del sedimentador secundario

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de entrada, Q	m ³ /d	77.68
Caudal de recirculación, Q _r	m ³ /d	25.15
Factor limitante de sólidos, SF	kg/m ² h	0.0187
Área, A	m ²	7.2
Diámetro, D	m	3
Altura total, H	m	1.83
Velocidad de sobreflujo, V _s	m ³ /m ² -d	10.8
Volumen, V	m ³	12.93
Tiempo de retención	h	4

- **Tanque de cloración**

La cloración se llevará a cabo a través de un tanque de dosificación con una solución de Hipoclorito de Calcio Ca(ClO)₂.

Tabla 24: Características del tanque de cloración

Parámetro	Unidad	Valor
Dosis de cloro	mg/L	8
Volumen de Ca(ClO) ₂	m ³ /d	6.52 x 10 ⁻⁴
Tiempo de reserva	d	10
Volumen del tanque	m ³	8 x 10 ⁻³
Diámetro	m	0.15
Altura	m	0.5

- **Producción de lodos**

Los lodos totales del sistema serán los producidos por el sedimentador primario y secundario ya que en estos es donde se asientan los sólidos que luego son enviados a la línea de tratamiento de lodos para su disposición final.

Para el cálculo de los lodos totales producidos se asumieron los siguientes valores:

- ✓ DBO₅ en el efluente secundario = 20 mg/L
- ✓ SST en el efluente secundario = 24 mg/L
- ✓ Porcentaje de sólidos en el efluente primario = 6%
- ✓ Porcentaje de sólidos en el efluente secundario = 12%
- ✓ Producción de lodos, $Y = 0.23$ kg lodos secos/kg DBO removida

Tabla 25: Lodos totales producidos

Parámetro	Unidad	Valor
Lodos primarios	kg/d	4.2
Lodos secundarios	kg/d	3.14
Volumen de lodos primarios	m ³ /d	0.07
Volumen de lodos secundarios	m ³ /d	0.26
Lodos totales	kg/d	7.34
Volumen de lodos totales	m ³ /d	0.33

- **Espesador por gravedad**

Se diseñó un espesador por gravedad para reducir el volumen del fango asumiendo un aumento de hasta un 7% en el contenido de sólidos.

Tabla 26: Características del espesador por gravedad

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen de lodos, V_L	m ³ /d	0.33
Caudal de lodos (7% Sólidos)	m ³ /d	0.105
Reducción del volumen de lodos	%	68.18
Área, A	m ²	0.24
Diámetro	m	2
Altura, H	m	1.5
Tiempo de retención, θ	h	26

- **Digestor anaerobio**

Se tendrá un digestor anaerobio de mezcla completa para estabilizar los lodos primarios y secundarios, asumiendo los siguientes datos:

- ✓ Caudal de lodos = 33 m³/d
- ✓ Tiempo de retención, θ_c = 10 días
- ✓ Temperatura de operación = 35°C
- ✓ Eficiencia del digestor = 60%

Tabla 27: Características del digestor anaerobio

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen, V	m ³	3.3
Diámetro, D	m	1.5
Altura, H	m	2
Sólidos volátiles producidos, P _x	kg/d	0.116
Porcentaje de estabilización	%	57.4
Volumen de metano, V _{CH₄}	m ³ /d	1.24
Volumen total de gas	m ³ /d	1.85

- **Eras de secado**

Para reducir el contenido de humedad de los lodos de forma natural se diseñó un lecho de arena conocido como Eras de secado, por ser el método más económico y el más utilizado para plantas de tratamiento pequeñas.

Tabla 28: Características de las eras de secado

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho del lecho, a	m	4
Longitud del lecho, L	m	5
Espesor de grava	cm	20
Profundidad de arena	cm	20
Altura sobre la arena	cm	20
Distancia entre drenajes	m	0.5
Profundidad de aplicación	cm	5
Tiempo de retención, t _R	d	15
Cantidad de sólidos por aplicación	kg	53.55
Carga de sólidos por año	kg/m ² -año	86.8

6.4 Balance de Contaminantes

Para determinar la cantidad removida de cada contaminante por etapa y proceso unitario involucrado en el sistema de tratamiento, se hace uso de los porcentajes de remoción encontrados en la bibliografía. De los rangos de remoción descritos por Metcalf & Eddy (2003) y García (2017) se adoptan valores medios de estos para tener un mayor grado de confiabilidad en el sistema propuesto.

En la Tabla 29 se muestran las cantidades removidas de cada contaminante en la Sedimentación primaria.

Tabla 29: Remociones en la sedimentación primaria

Parámetro	Entrada	Remoción (%)	Removido	Salida
Color (Pt-Co)	157.5	-	-	157.5
Temperatura (°C)	30.37	-	-	30.37
pH	8.37	-	-	8.37
DBO ₅ (mg/L)	168	34	57.12	110.8
DQO (mg/L)	249	30	74.7	174.3
SST (mg/L)	142	56	79.52	62.5
SSed (mL/L)	0.92	50	0.46	0.46
Aceites y Grasas (mg/L)	4.15	30	1.245	2.9
Materia Flotante	Presente	-	-	Presente
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	3.95	30	1.185	2.77
Arsénico (mg/L)	0	0	0	0
Nitrógeno Total (mg/L)	39	15	5.85	33.15
Fósforo Total (mg/L)	3.6	15	0.54	3.06
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	4.6 x 10 ⁶	50	2.3 x 10 ⁶	2.3 x 10 ⁶
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	8 x 10 ⁶	50	4 x 10 ⁶	4 x 10 ⁶

En las Tablas 30 y 31 se muestran las remociones luego del proceso biológico y la desinfección como etapa final del tratamiento.

Tabla 30: Remociones en los lodos activados

Parámetro	Entrada	Remoción (%)	Removido	Salida
Color (Pt-Co)	157.5	30	-	110.25
Temperatura (°C)	30.37	-	-	30.37
pH	8.37	-	-	8.37
DBO ₅ (mg/L)	110.8	90	99.72	11.08
DQO (mg/L)	174.3	85	148.15	26.15
SST (mg/L)	62.5	85	53.125	9.4
SSed (mL/L)	0.46	85	0.39	0.069
Aceites y Grasas (mg/L)	2.9	50	1.45	1.45
Materia Flotante	Presente	-	-	Ausente
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	2.77	60	1.1	1.67
Arsénico (mg/L)	0	0	0	0
Nitrógeno Total (mg/L)	33.15	60	19.89	13.26
Fósforo Total (mg/L)	3.06	50	1.53	1.53
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	2.3 x 10 ⁶	95	2.2 x 10 ⁶	100 x 10 ³
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	4 x 10 ⁶	95	3.8 x 10 ⁶	200 x 10 ³

Tabla 31: Remociones en la desinfección

Parámetro	Entrada	Remoción (%)	Removido	Salida
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	100 x 10 ³	99	100 x 10 ³	Negativo
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	200 x 10 ³	99	200 x 10 ³	Negativo

En la Tabla 32 se muestra el balance de contaminantes por etapa del proceso con las concentraciones iniciales de dichos contaminantes y sus valores finales luego del tratamiento de aguas residuales.

Tabla 32: Balance de contaminantes por etapa del proceso

Parámetro	Entrada	Valor máximo permisible	Sedimentación primaria	Lodos activados	Desinfección	Salida
Color (Pt-Co)	157.5	15%*	-	110.25	-	110.25
pH	8.37	7.5 < pH < 8.5	-	-	-	8.37
DBO ₅ (mg/L)	168	50	110.8	11.08	-	11.08
DQO (mg/L)	249	120	174.3	26.15	-	26.15
SST (mg/L)	142	50	62.5	9.4	-	9.4
SSed (mL/L)	0.92	1	0.46	0.069	-	0.069
Aceites y grasas (mg/L)	4.15	20	2.9	1.45	-	1.45
Materia Flotante	Presente	Ausente	Presente	Ausente	-	Ausente
Nitrógeno Total (mg/L)	39	15	33.15	13.26	-	13.26
Fósforo Total (mg/L)	3.6	2	3.06	1.53	-	1.53
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	3.95	3	2.77	1.67	-	1.67
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	4.6 x 10 ⁶	1000	2.3 x 10 ⁶	100 x 10 ³	Negativo	Negativo
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	8 x 10 ⁶	5000	4 x 10 ⁶	200 x 10 ³	Negativo	Negativo

Nota: El arsénico se considera despreciable debido al valor obtenido en los análisis.

6.5 Recomendaciones de Gestión Ambiental

Se recolectó información general sobre datos de consumo en todo el centro, de los programas y actividades relacionadas con la utilización del agua potable con el fin de proponer estrategias y recomendaciones que permitan una gestión eficiente de los recursos. Esta información se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 33: Identificación de aspectos generales

Dato	✓/ x	Observaciones
Volumen de agua consumido en el año	x	
Dispositivos de medidas	✓	Medidor del flujo de entrada de agua potable
Coste de agua medio por m ³	x	
Origen del agua		
- público	✓	
- pozo		
Tratamiento de agua potable	x	
Programa de mantenimiento preventivo de fugas	x	
Carteles del buen uso de los sistemas de descarga	x	
Aprovechamiento de fuentes alternativas (Agua de lluvia)	x	
Políticas de uso eficiente del agua	x	
Campañas de sensibilización, capacitación	✓	Talleres 2-3/año
Programas de reducción y uso eficiente del agua	x	
Requiere mantenimiento de baños	✓	

✓: Si existe

x: No existe/Desconocido

Se identificó el estado de uso del agua en el hospital para determinar si existe un buen manejo del recurso en todas las instalaciones y visualizar las principales fugas relacionadas con los dispositivos utilizados y la falta de equipos reductores de caudal. El estado de funcionamiento de estas instalaciones puede apreciarse en la Tabla 34.

Tabla 34: Descripción de las instalaciones de agua

Equipo	N° Total	Estado				Equipamiento	
		Sin fuga	Fuga (goteo)	Fuga Importante	Fuera de servicio		N° Total
Tipos de Grifos							
Ruleta	37	✓	*	×	3	Llave Unitaria	✓
Monomando	109	✓	*	×	3	Reductor de Caudal	×
Temporizador	×	×	×	×	×	Perlizador	✓
Accionamiento por pie	×	×	×	×	×		
Tipos de Urinarios							
Llave	×	×	×	×	×		
Temporizador	1	✓	×	×	×		
Tipos de Inodoros							
Cisterna Elevada	×	×	×	×	×	Tecla de descarga	×
Pulsador /Tirador	57	×	×	✓	3	Doble Tecla	×
Tipos de Duchas							
Ruleta	23	✓	×	×	3	Reductor de caudal	×
Monomando	×	×	×	×	×	Cabezal economizador	×
Temporizador	×	×	×	×	×	Perlizador	6
Sistema de riego							
Manguera	✓	✓	×	×	×		
Aspersores	×	×	×	×	×		

✓: Si existe

x: No existe

* Mal uso

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo abordamos los análisis y discusión de los resultados presentados en el capítulo anterior, la interpretación del caudal utilizado para el diseño del sistema de tratamiento, comparación de las concentraciones de los parámetros por cada una de las líneas con los valores máximos permisibles de vertido para la determinación de la calidad del agua, así como la descripción de las remociones de los contaminantes en cada una de las etapas propuestas en el tren de tratamiento.

7.1 Cuantificación del Caudal Total

Se ubicaron dos puntos de muestreos en todas las instalaciones del hospital, sitios en donde convergen las aguas provenientes de las actividades de salud, en el cual, uno de los canales de salida nombrado como Línea 1 de muestreo abarca las áreas tanto administrativas como de salud; y la Línea 2 que corresponde exclusivamente al área de consulta externa del hospital estudiado.

A partir de las mediciones de caudales reportadas en las Tablas 12 y 13 se realizaron gráficos del comportamiento del caudal en cada línea para la obtención de los caudales máximos los que se consideraran para el cálculo del caudal de diseño de la PTAR.

La Figura 13 muestra los caudales de la Tabla 12 obtenidos de los muestreos realizados en la Línea 1 como evidencia de la fluctuación del volumen del efluente descargado, se puede observar que el tercer muestreo contiene el valor máximo por hora de caudal medido cuyo valor corresponde a 870 L/h (21 m³/d) y el caudal mínimo de 327 L/h (7.9 m³/d) en el primer muestreo, el caudal promedio se fijó a través del cálculo de la media de los valores del caudal medio diario, el cual fue de 15 m³/d.

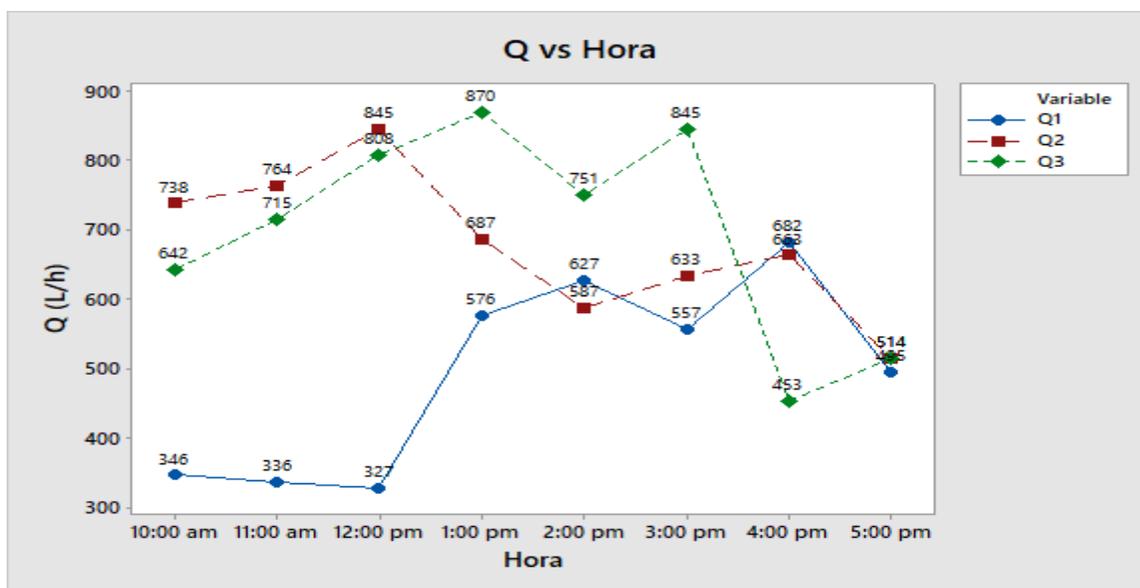


Figura 13: Comportamiento del caudal, Línea 1

En la Figura 14 se muestran los caudales obtenidos en los tres muestreos de la Tabla 13, se logra observar que en el tercer muestreo se presenta el valor máximo por hora de caudal medido cuyo valor corresponde a 1338 L/h ($32.1 \text{ m}^3/\text{d}$) y el valor mínimo de 215 L/h ($5.2 \text{ m}^3/\text{d}$) medido en la Línea 2. El promedio de los valores del caudal medio diario, es de $12.4 \text{ m}^3/\text{d}$.

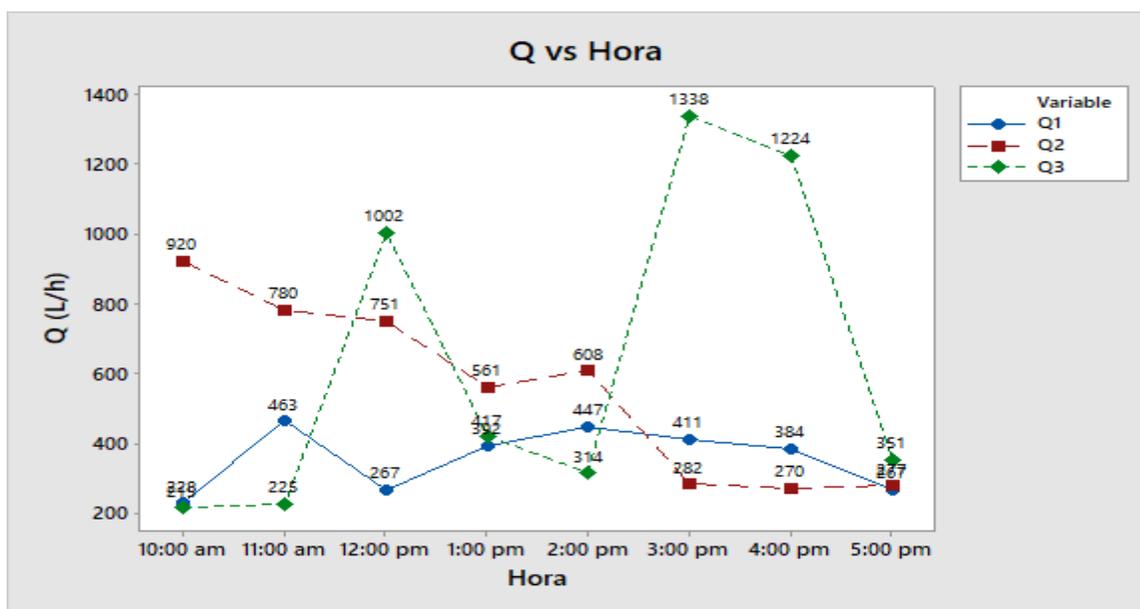


Figura 14: Comportamiento del caudal, Línea 2

7.1.1 Caudal de diseño

Para el cálculo del caudal de diseño se utilizaron los valores máximos de cada una de las líneas de aguas residuales presentados en las gráficas de las Figuras 13 y 14, el resultado de la suma de estos caudales será el caudal máximo total.

En la Tabla 35 se presenta el resultado del caudal máximo total siendo este de 53 m³/d mismo que se utilizó para realizar los cálculos de diseño, dicho caudal generado unido con la cuantía de los indicadores medio ambientales fisicoquímicos y microbiológicos permitieron conocer el riesgo de disponer los vertidos hospitalarios sin tratamiento.

Tabla 35: Caudal de diseño

	Valor	Unidades
L1	870	L/h
L2	1338	L/h
Caudal Máximo Total	2208	L/h
	53	m ³ /d

7.2 Caracterización del Agua Residual Hospitalaria

A través de la caracterización se permitió un análisis de los indicadores que determinan el nivel de contaminación de las aguas residuales del hospital, así como el tipo de contaminantes existentes, priorizando los parámetros reglamentados en Nicaragua, sin embargo en el reglamento no son determinados los límites máximos para todas las características que se analizaron, por lo que se realizaron búsquedas en normas internacionales, tomándose los límites de vertidos más estrictos en relación a los criterios consultados.

A partir de la información expuesta en la Tabla 17 se indican los parámetros que no cumplen con las concentraciones establecidas y que no deberían ingresar a las aguas del alcantarillado sanitario. Se encontró que de las variables en estudio medidas en los efluentes líquidos del Hospital Nilda Patricia de Ciudad Sandino solo la Temperatura (T), el Potencial de Hidrógeno (pH), Sólidos Sedimentables (SS), Arsénico, Grasas y Aceites (GyA), se encuentran por debajo de los límites máximos o bien dentro de los ámbitos de valores permitidos por las normas sobre vertido de aguas residuales de la Tabla 16.

Durante la caracterización fue necesaria la determinación de la materia flotante para un control y el tratamiento de descargas, cuyos resultados de los análisis indicaron que existe una presencia de este contaminante por su retención en las mallas. Esta variable puede contener bacterias patógenas o virus asociados con partículas individuales y pueden concentrar sustancias tóxicas como metales e hidrocarburos clorados.

Para el arsénico no se presenta el comportamiento dado que los valores de este se encuentran por debajo de <0.001 por lo que no requerirá una eliminación convencional.

En la Tabla 14 y 15 se presentaron las medias de tendencia central y de dispersión; de tal manera que se observa una buena correlación entre los resultados con respecto a la media pudiéndose observar entre los valores de la varianza obtenida.

Para la selección y dimensionamiento del sistema de tratamiento más adecuado se debe lograr una correcta remoción de los contaminantes. En la Tabla 16 se muestran los parámetros promediados de la calidad de agua residual correspondientes al valor mayor entre ambas líneas de salidas, los que se compararon con los valores máximos permisibles establecidos en el Artículo 27 del Decreto 21-2017 de Nicaragua, las limitaciones establecidas en la Parte 460.12 de las Normas (EPA), en el Reglamento para control del vertimiento de líquidos residuales de la República Argentina (Resolución N°1089/82) y el Decreto N° 33601 Vertido y Reúso de aguas Residuales de la República de Costa Rica.

7.2.1 Caracterización física de los efluentes

La determinación del color permite ver si existe la necesidad de incluir reactivos químicos o filtros para el tratamiento de aguas residuales, en los análisis se realizó la determinación del color verdadero que es debido a extractos coloidales, esta característica se liga con la apariencia del agua y la cantidad de los sólidos disueltos de origen orgánico.

El comportamiento de este se visualiza en la Figura 15, no se presenta el valor máximo permisible en la gráfica debido a que la norma nacional no limita este parámetro en mg/L Pt-Co.

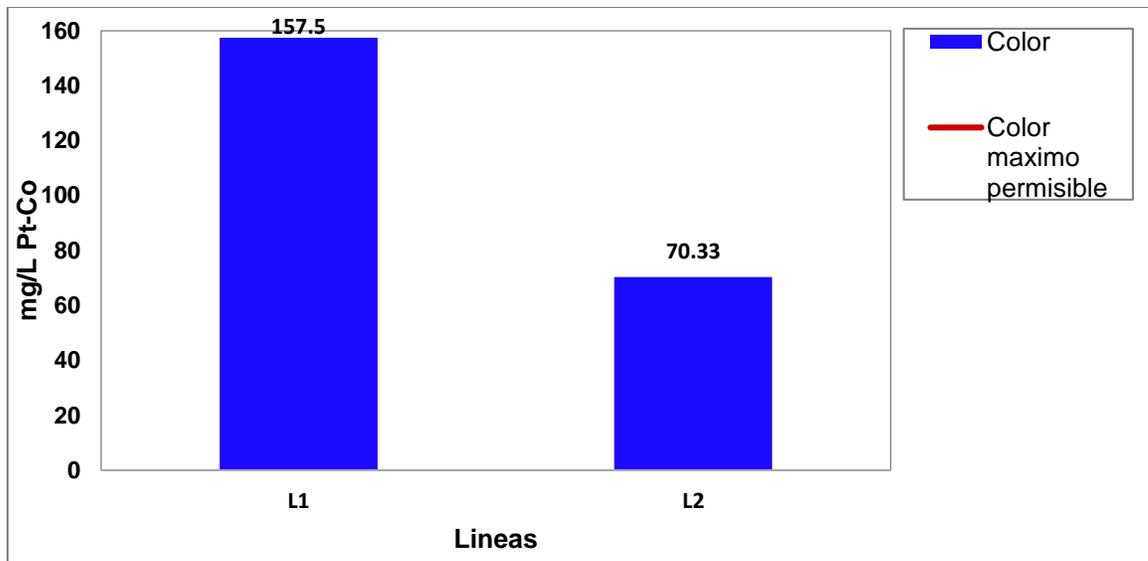


Figura 15: Comportamiento del color

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la variable temperatura en el efluente de los canales de salidas, en los que se tomaron los promedios indicados en la calidad de agua de los resultados, siendo 29.84 °C el promedio de temperatura de la Línea 1 y 30.37 °C en la Línea 2 cuyos valores son influenciados por las estaciones y momentos del día en que se toman los datos, se observa que estos cumplen con el valor máximo admisible de 40°C especificado en la norma internacional Decreto N° 33601 dado que no hay valor normado de temperatura en la legislación nacional.

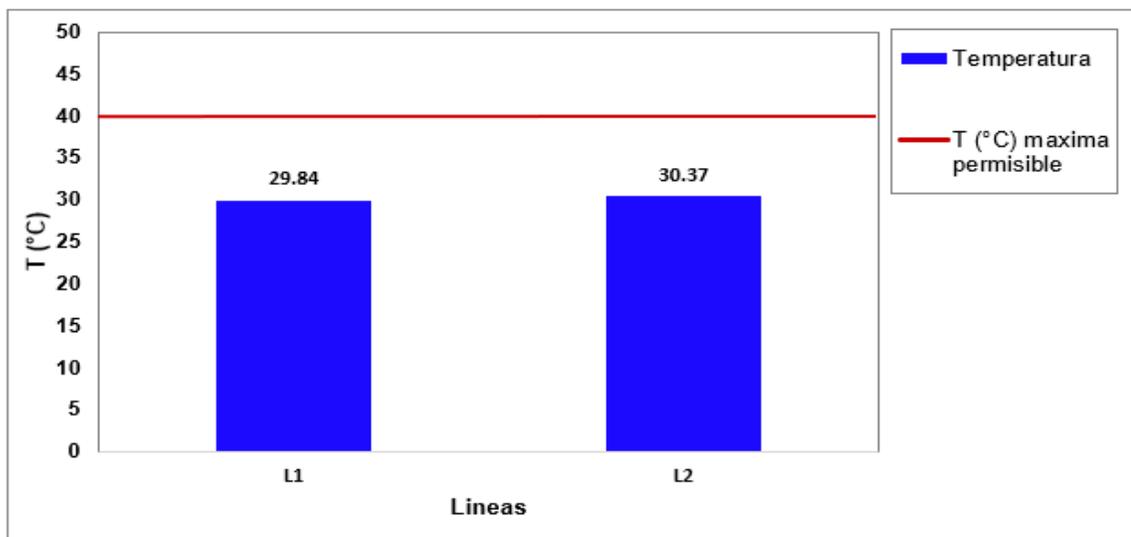


Figura 16: Comportamiento de la temperatura

En la Figura 17 se muestran los valores promedios de pH, que se consideran básicos y que además se encuentran dentro del rango máximo permisible de la legislación nacional Decreto 21-2017 y del indicado en la legislación extranjera Resolución N° 1089/82.

En el Anexo B se presentan las fichas de muestreos en donde el valor máximo obtenido es de 9.03 en el canal 1 y 9.84 en el canal 2 ambos en el primer muestreo. Cabe destacar que el pH es uno de los valores que influye dentro de la calidad del agua y en el tratamiento de la misma según el tipo de proceso que le sea aplicado al agua, ya sea biológico o químico.

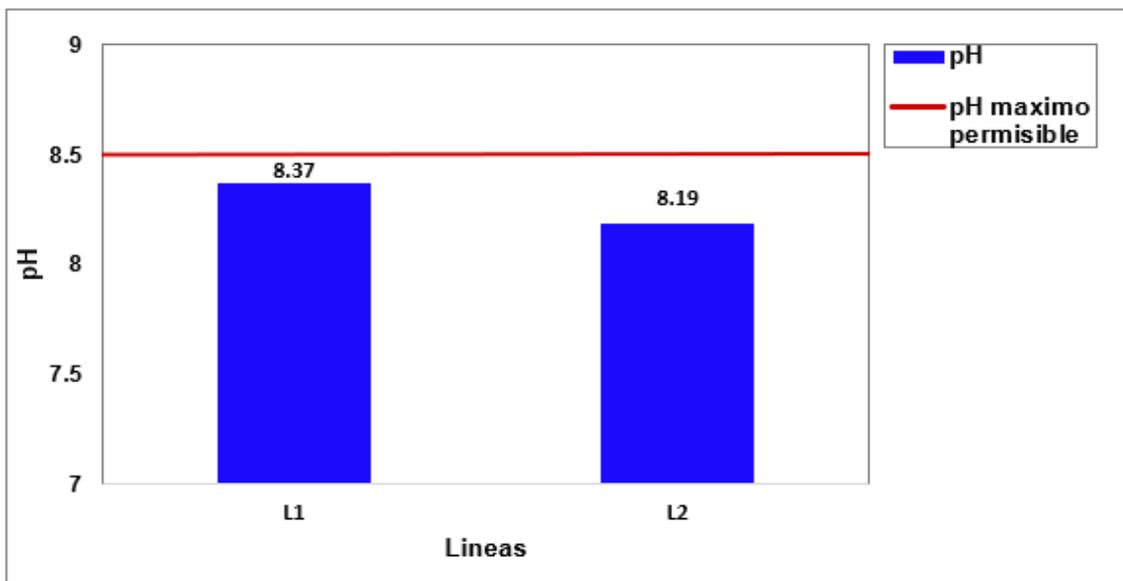


Figura 17: Comportamiento de pH

La Figura 18 demuestra que los sólidos suspendidos totales están excediendo los valores permisibles provocando que se desarrollen depósitos de lodos y condiciones anaerobias al momento de descargar las aguas sin tratamiento en un cuerpo de agua, es por ello que es necesario controlar estos efectos indeseables a través de un tratamiento que permita su correcta remoción. El valor normado de solidos suspendidos totales es de 50 mg/L, excediendo el límite del valor normado en todas las legislaciones que se emplean.

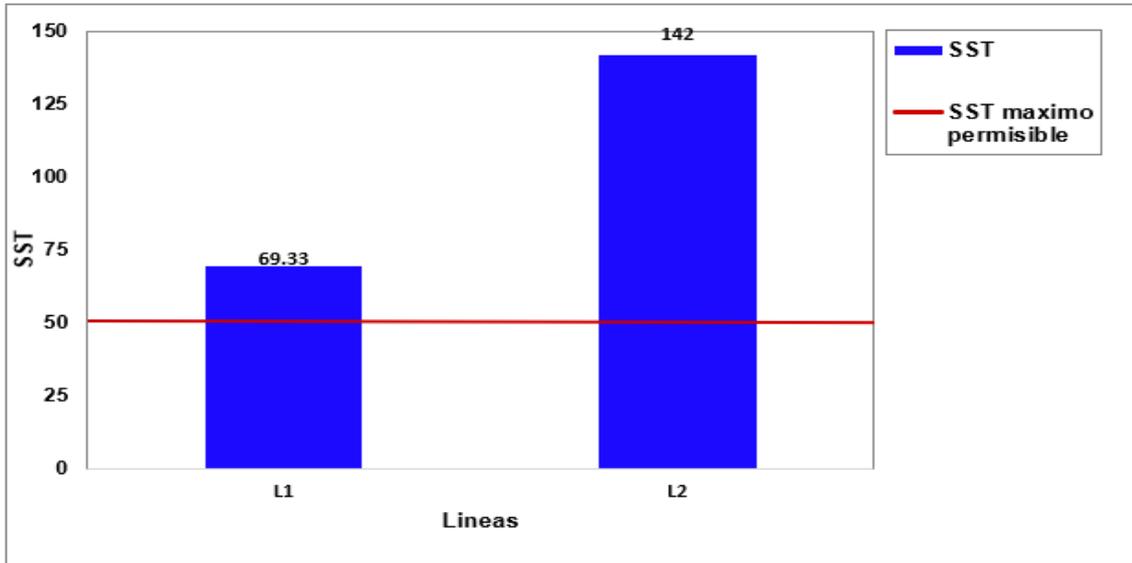


Figura 18: Comportamiento de los sólidos suspendidos totales

Los sólidos sedimentables como se observa en la Figura 19 presentaron concentraciones dentro de los límites máximos permisible del Artículo 27 del Decreto 21-2017 (1 mg/L) y en los promedios de las réplicas presentadas en el Anexo B se observa que estos fueron aumentando por día de muestreo en las líneas.

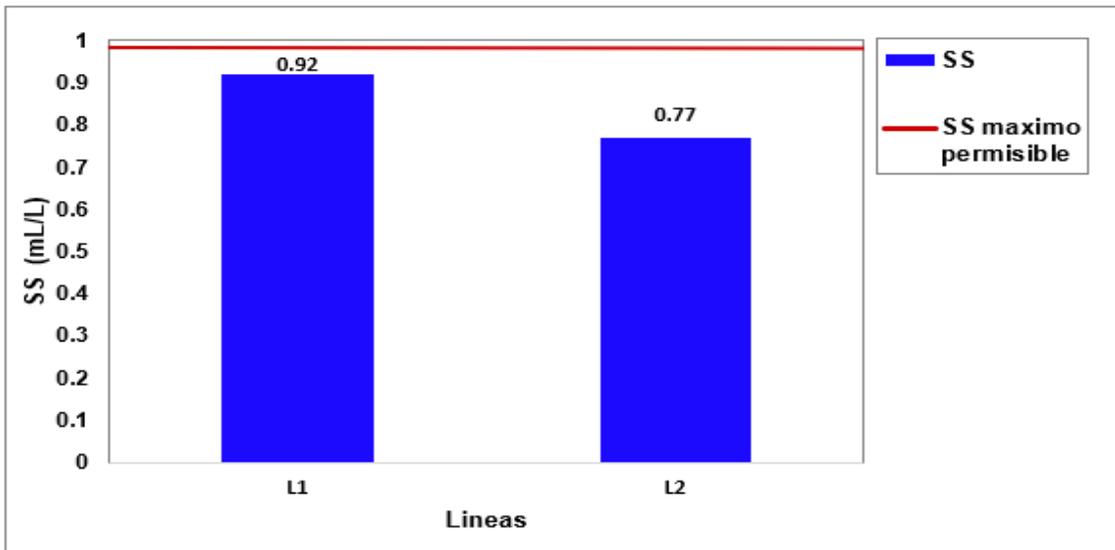


Figura 19: Comportamiento de sólidos sedimentables

7.2.2 Caracterización química de los efluentes

La relación entre la DBO₅ y la DQO es una de las más importantes durante la selección de la alternativa de tratamiento, el comportamiento de ambos parámetros está casi armonizado ya que su relación entre cada análisis es similar.

No obstante, los valores de DBO₅ más altos se reflejaron en la Línea 1 en los análisis del primer muestreo con un valor de 237.18 mg/L y en la otra línea se obtuvo el dato más bajo siendo este de 26.13 mg/L.

Tabla 36: Análisis de DBO₅

	Línea 1			Línea 2		
Replicas	M1	M2	M3	M1	M2	M3
R1	105.19	159.46	162.81	201.67	64.99	127.97
R2	237.18	178.22	158.12	212.39	26.13	93.13
Promedio	171.185	168.84	160.465	207.03	45.56	110.55
Máximo		237.18			212.39	
Mínimo		105.19			26.13	

En la Figura 20 se describe que los valores en cada línea están fuera del valor de DBO₅ máximo permisible del Decreto N° 33601 y de la Resolución N°1089/82 (50 mg/L) determinando que hay valores altos de materia orgánica biodegradable que puede producir el agotamiento del oxígeno disuelto en un cuerpo receptor, por ende, desfavorece a la flora y la fauna presente en dicho cuerpo. Aunque si se cumple con la normativa nacional de 60 mg/L en el Arto. 27 del Decreto 21-2017.

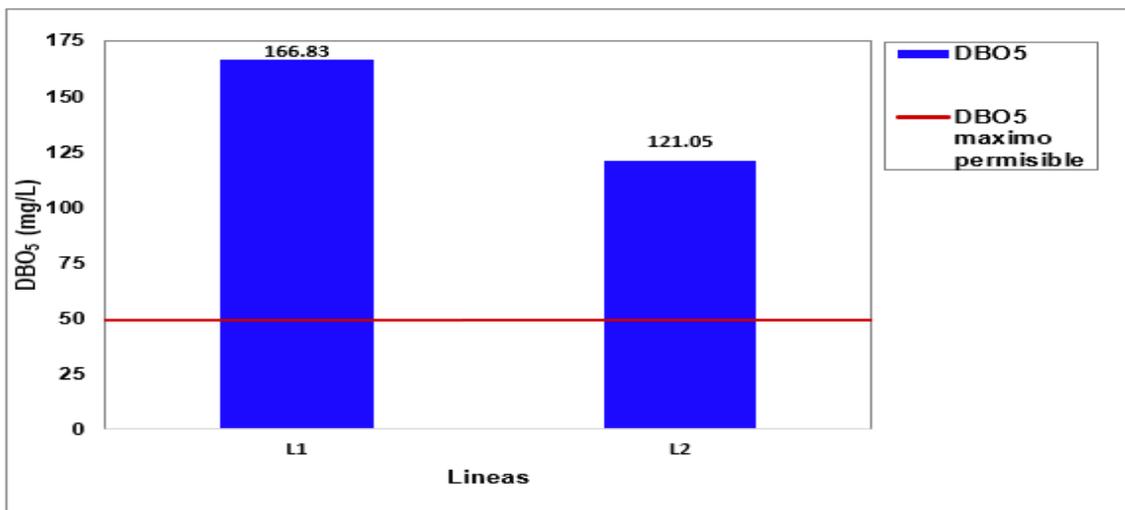


Figura 20: Comportamiento de DBO₅

Para la DQO el valor más alto se refleja en la Tabla 37, el cual corresponde al primer canal de salida el valor es de 354 mg/L y el valor mínimo fue de 39 mg/L en el segundo canal.

En la Figura 21 se tiene que el valor máximo admisible es de 120 mg/L del Artículo 27 del Decreto 21-2017 el cual es sobrepasado por las dos líneas analizadas que requieren un tratamiento para evitar que las altas concentraciones de materia orgánica provoquen un aumento de bacterias y otros descomponedores, creando un ambiente anóxico debido al consumo del oxígeno durante la actividad metabólica de las mismas.

Tabla 37: Análisis de DQO

	Línea 1			Línea 2		
Replicas	M1	M2	M3	M1	M2	M3
R1	157.00	238	243	301	97	191
R2	354.00	266	236	317	39	139
Promedio	255.50	252.00	239.50	309	68.00	165.00
Máximo		354			317	
Mínimo		157			39	

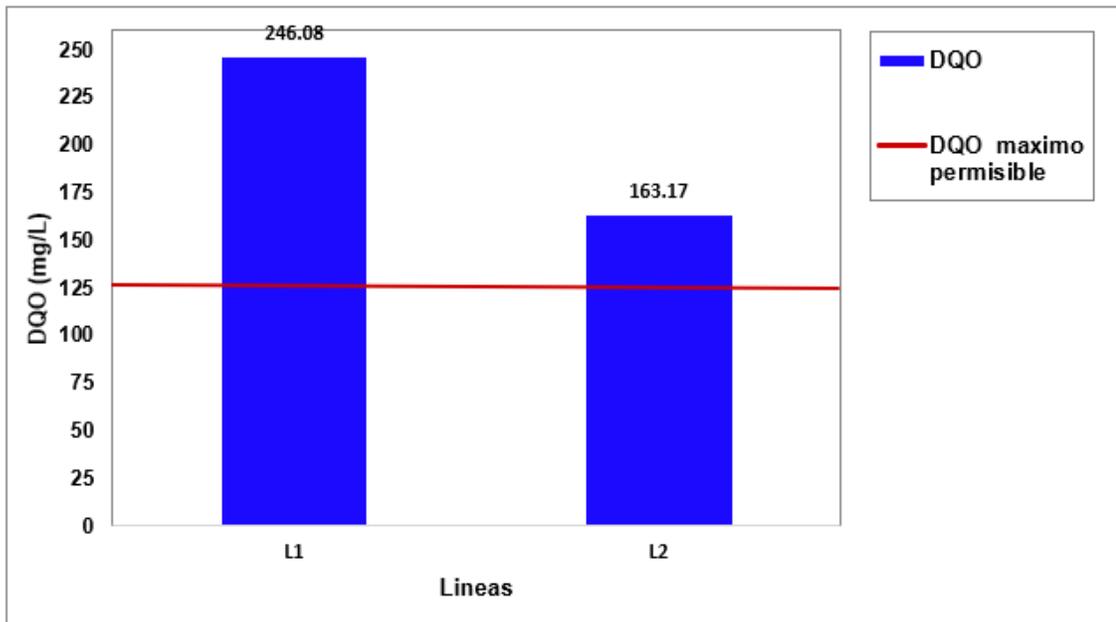


Figura 21: Comportamiento de DQO

En la Figura 22 se permite apreciar que las grasas y aceites se encuentran con la mayor concentración en la Línea 1 en donde los volúmenes de las actividades de atención son más altos. El valor cumple con el objetivo de la normativa ambiental de vertido de 20 mg/L especificado en el Arto.27 del decreto 21-2017, así como de identificar si es preciso diseñar sistema de trampas de grasas, ya que un tratamiento de carácter anaerobio se vería afectado por una alta presencia de este parámetro, por una fijación del oxígeno disuelto ocasionando situaciones de anoxia que propician la proliferación.

El valor de aceites y grasa encontrado está por debajo del valor normado en la legislación nacional y las extranjeras.

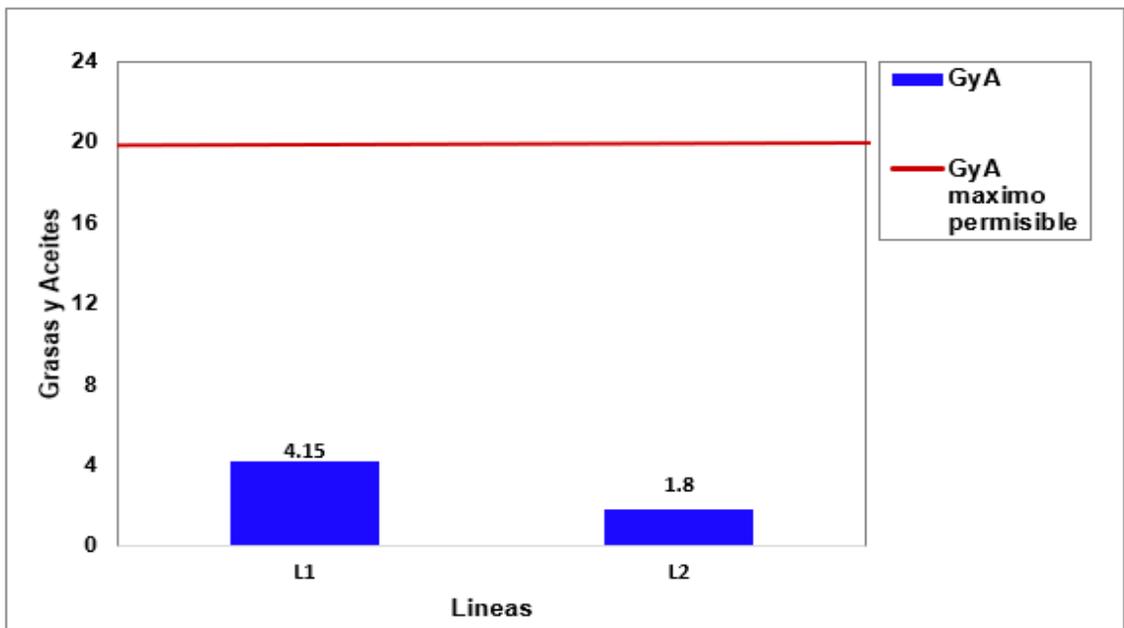


Figura 22: Comportamiento de grasas y aceites

El análisis de tensoactivos Figura 23 reporta concentraciones de 3.95 mg/L en el primer canal de salida, valor que como lo refleja la gráfica está sobrepasando el límite máximo permisible de 3 mg/L por la Resolución N° 1089/82 aunque en el Decreto 33601 está dentro del límite máximo (5 mg/L), dicho valor no se encuentra normado en la legislación nacional. El que este fuera del límite máximo permisible generara efectos adversos en el medio dado que imposibilita un adecuado intercambio gaseoso, incrementando el consumo de oxígeno disuelto y la concentración de fósforo total lo que puede originar problemas de eutrofización.

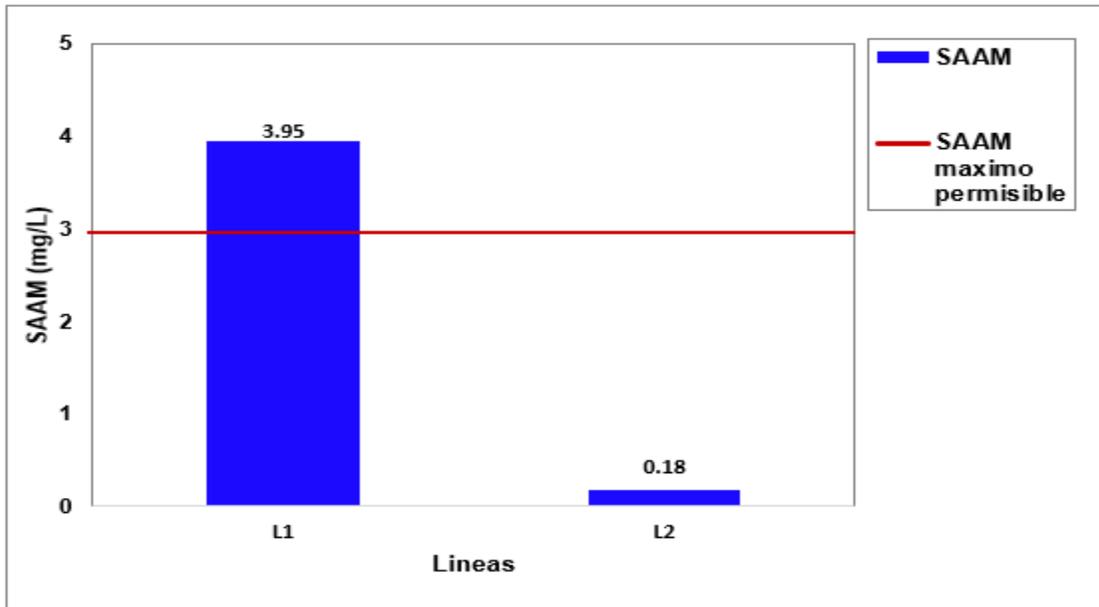


Figura 23: Comportamiento de las sustancias activas al azul de metileno

El objetivo de la determinación de este parámetro Nitrógeno total Figura 24, es identificar si su concentración no es una limitante en el crecimiento bacteriano pues es importante en la constitución de un proceso biológico, se aprecia que los análisis de los efluentes tienen valores que superan las concentraciones de vertido normados de 15 mg/L de la Resolución N°1089/82.

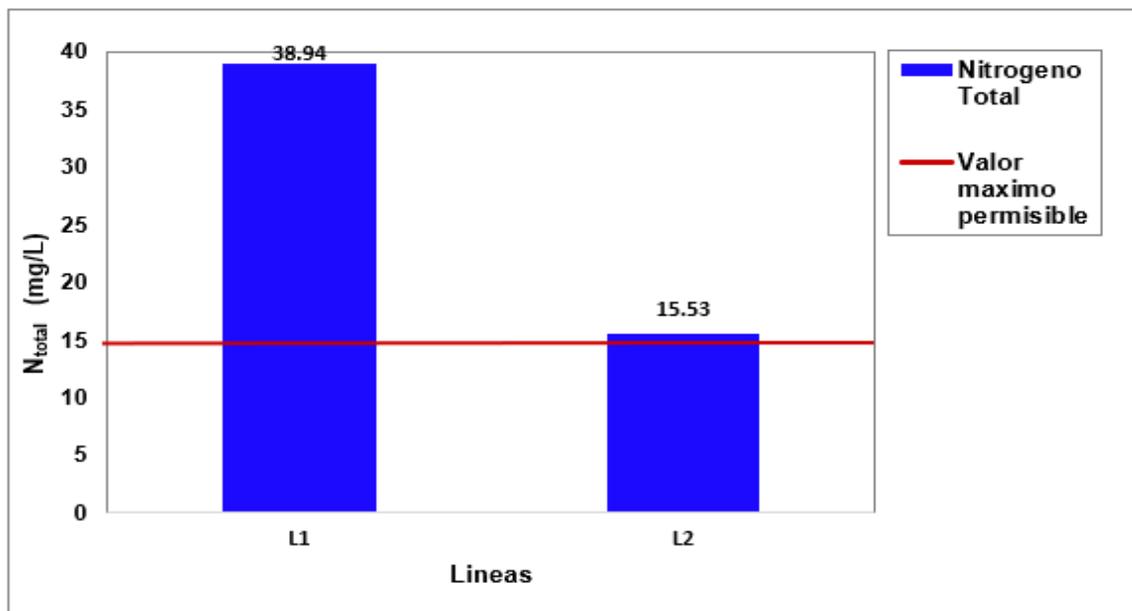


Figura 24: Comportamiento de nitrógeno total

El contenido de fósforo en el agua es fundamental para el crecimiento bacteriano, además es un parámetro que debe ser controlado antes del vertido del efluente a un cuerpo receptor, pues es causante del proceso de eutrofización, en la Resolución 1089/82 se establecen 2 mg/L como límite máximo permisible; los valores de Fosforo Total en los muestreos de la Línea 2 se encuentran por encima de lo permitido en la Figura 25.

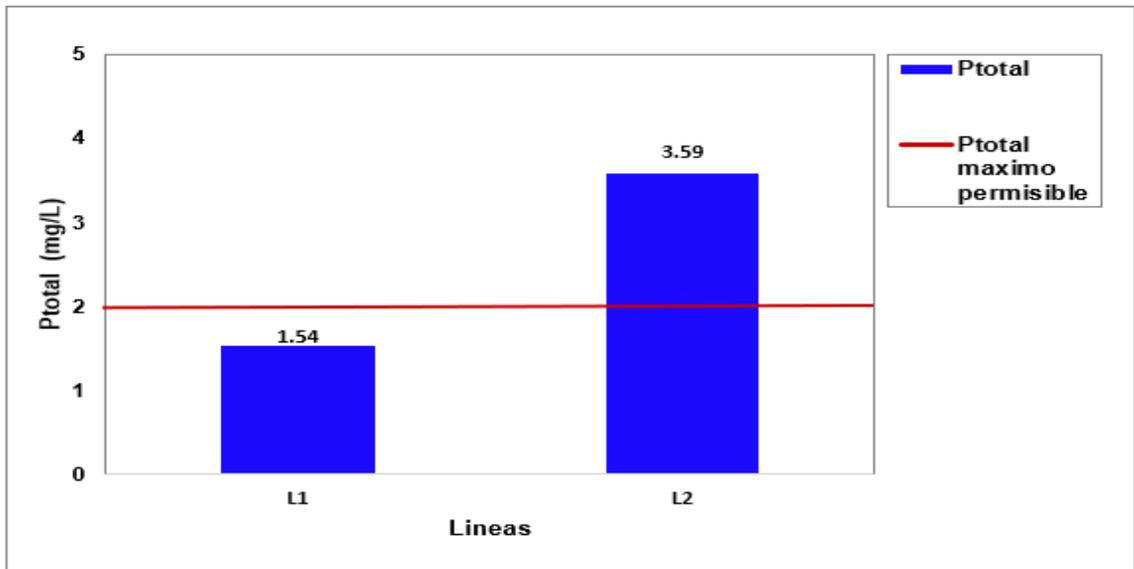


Figura 25: Comportamiento de fósforo total

7.2.3 Caracterización microbiológica de los efluentes

Se tiene en cuenta que los coliformes termotolerantes son un subgrupo de los coliformes Totales convirtiéndose en uno de los indicadores de contaminación por organismos patógenos. Como se verifica en la Figura 26 se tienen valores muy elevados de NMP por cada 100 mL en las muestras tomadas de agua residual, indicándose a su vez que existe una contaminación microbiológica alta y que es necesaria su correcta eliminación en todos los efluentes.

Es importante cumplir con las directrices y normativas que existen para garantizar la calidad del agua y por ende del ecosistema, la presencia de coliformes termo tolerantes está representando un riesgo en las actividades por la incorporación de los microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana, es por ello que es importante un control sanitario para mantener un grado de salud adecuado en la población.

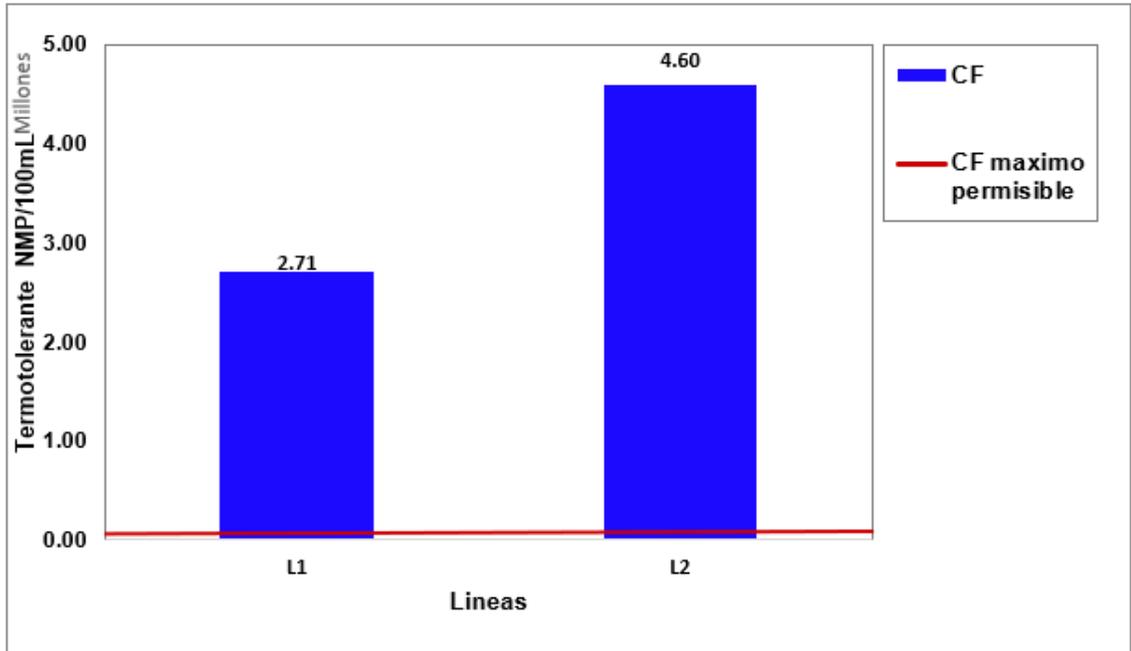


Figura 26: Comportamiento de coliformes termotolerantes

En la Figura 27 se muestra la alta presencia de coliformes totales en el agua residual hospitalaria excediendo lo establecido en la normativa, se observa una mayor concentración que es de 8×10^6 para la línea 2 y 4.62×10^6 NMP/100 mL en la línea 1 dando indicio de una alta contaminación por microorganismos.

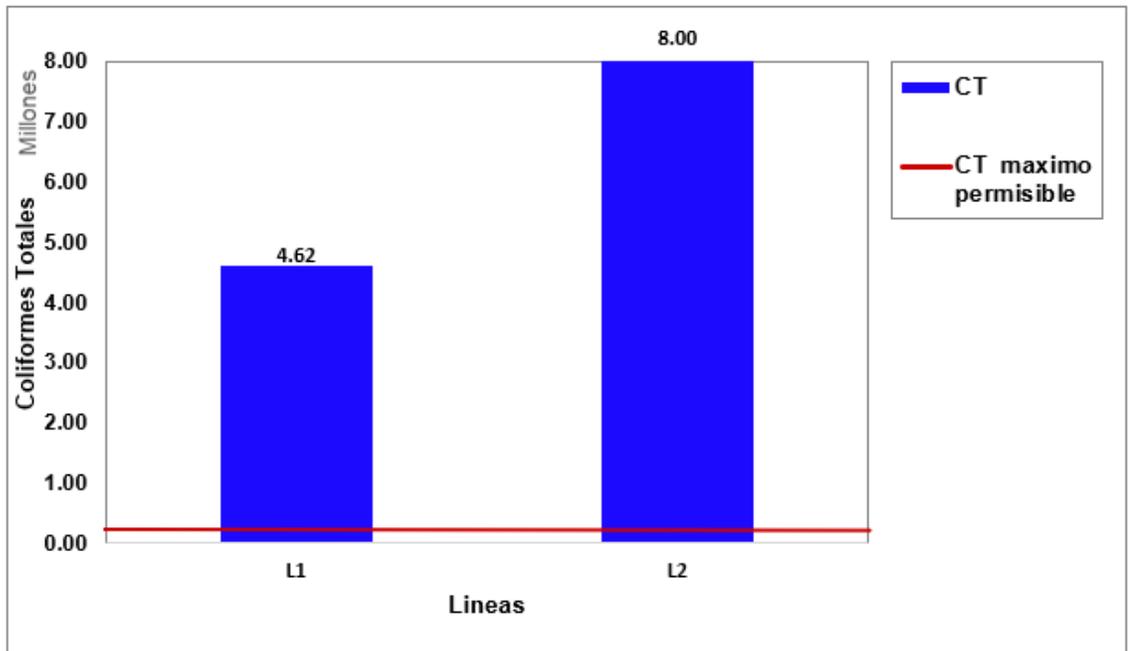


Figura 27: Comportamiento de coliformes totales

7.3 Propuesta de Tratamiento

La elección del tipo de tratamiento y las etapas de las que está constituido dependió mayormente del nivel de contaminación de las aguas residuales producidas. Como una manera fácil de seleccionar el tratamiento se determinó la relación DBO/DQO la cual proporciona una información importante sobre el método más adecuado para tratar el tipo de agua en estudio. Una vez determinada esta relación se concluyó que el proceso biológico sería el método más eficiente en comparación con el proceso de adición de químicos.

Del gran número de tratamientos biológicos entre ellos aerobios y anaerobios se seleccionó el proceso de lodos activados por ser una tecnología accesible, por poseer gran flexibilidad operacional y proporcionar la más alta remoción de contaminantes en relación a otros procesos. Habiendo definido esto, finalmente se establecieron las unidades de tratamiento complementarias para llevar a cabo el proceso de lodos activados:

- ✓ Rejillas
- ✓ Sedimentador primario
- ✓ Tanque de aireación provisto de paneles solares
- ✓ Sedimentador secundario
- ✓ Tanque de cloración
- ✓ Unidades de tratamiento de lodos



Figura 28: Ubicación física de la planta

La planta de tratamiento se ubicará en el costado este de las instalaciones del hospital como se aprecia en la Figura 28, donde hay un área superficial disponible de 520 m², el cual es suficiente para albergar todas las unidades de la planta correspondientes a la línea de tratamiento de agua y de lodos.

7.3.1 Pretratamiento

Esta es la primera etapa del tratamiento de aguas residuales donde se eliminan materias y cuerpos excesivamente gruesos, cuya presencia en el efluente puede perturbar el funcionamiento de las máquinas y unidades de tratamiento posteriores.

En este caso se hizo uso de las rejillas como unidad de pretratamiento donde se podrán retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión que arrastra consigo el agua residual. El afluente entrará por una caja de registro donde se inspeccionará el estado del agua para luego pasar a través de las rejillas de cribado medio terminando así la etapa de pretratamiento.

7.3.2 Tratamiento primario

Como tratamiento primario se tendrá la unidad del sedimentador primario el cual tendrá como objetivo reducir por acción de la gravedad las partículas disueltas y en suspensión en las aguas residuales que no han podido retenerse por razón de su finura o densidad en las rejillas.

En esta etapa se logra remover gran parte de la materia en suspensión debido a la reducción de la velocidad del agua; al mismo tiempo al depositarse estas partículas, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias con lo que se alcanza también una reducción de la DBO₅ en el afluente.

El tanque de decantación primaria se diseñó de forma rectangular con dimensiones de 2, 1 y 2 metros para la longitud, ancho y altura respectivamente. Se definió un tiempo de retención de 2 horas para el agua residual obteniéndose así una remoción del 34% para la DBO y del 56% para los sólidos suspendidos totales.

7.3.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consistió en un tanque de aireación siendo el principal elemento del sistema de lodos activados desde el cual se provee del ambiente aerobio para el proceso de degradación de la materia orgánica; y el sedimentador secundario donde se separan los flóculos suspendidos en el agua residual y desde donde se recircula el fango para mantener la concentración de sólidos deseada en el tanque de aireación.

El tanque de aireación es de forma rectangular y tendrá dimensiones de 1.56, 3.12 y 2 metros de ancho, longitud y altura respectivamente. El caudal afluente del tanque será de 52.84 m³/d, del cual el 47% será recirculado nuevamente al proceso desde el tanque de sedimentación secundaria, así también se tendrá un total de 0.927 kg/d de lodos desechados.

Por otra parte, el sedimentador secundario será un tanque con forma circular y dimensiones de 1.83 y 3 metros para la altura y el diámetro respectivamente. Se proporcionará un tiempo de retención de 4 horas; el caudal que abarcará el tanque será de 77.68 m³/d, del cual 25.15 m³ se recircularán hacia el tanque de aireación una vez sedimentados los sólidos.

7.3.4 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de microorganismos que puedan causar enfermedades y daños a la salud humana. En este proceso se busca la eliminación completa de bacterias, virus y patógenos en general para minimizar riesgos en caso de tener contacto con el agua residual descargada hacia un cuerpo de agua, al alcantarillado sanitario o en caso de reutilizar dichas aguas.

El método que se utilizó para la desinfección del agua residual proveniente del hospital fue la cloración a través de una solución de hipoclorito de calcio [Ca(ClO)₂] por su fácil manipulación, su bajo costo y por ser el método más utilizado en plantas pequeñas. El hipoclorito de calcio tiene una concentración del 65% y se deberá proveer de la cantidad suficiente para sustentar las necesidades de dicha solución por al menos 10 días.

La solución de Ca(ClO)₂ se aplicará directamente a la corriente de salida del efluente en una cantidad de 6.52 x 10⁻⁴ m³/d con una concentración de cloro de

8 mg/L a través de un pequeño tanque de dosificación con dimensiones de 0.15 y 0.5 metros de diámetro y altura respectivamente.

7.3.5 Tratamiento de lodos

El tratamiento de los lodos producidos tiene como objetivo reducir al máximo el contenido de agua, sólidos volátiles y producir una mayor concentración del fango para su reutilización o disposición final. Las etapas seleccionadas para este fin fueron, el espesamiento por gravedad, la estabilización por medio de la digestión anaerobia y la deshidratación a través de las eras de secado.

El espesado de lodos se llevará a cabo en un espesador por gravedad ya que es la tecnología más económica y con altos rendimientos para este proceso, donde se conseguirá un aumento de un 7% en el contenido de sólidos de los lodos y una reducción del volumen de lodos en un 68%. El tanque tendrá una forma similar a un decantador circular con un diámetro de 2 metros y una altura de 1.5 metros con un tiempo de retención de 26 horas para el asentamiento de los sólidos.

Luego de haber conseguido la reducción del volumen y la homogenización del fango, se procede a realizar la estabilización de estos, con el fin de reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables e inhibir o eliminar su potencial de putrefacción, convirtiendo los sólidos en una forma inerte para que puedan ser manejados sin causar problemas a la salud. La estabilización se llevará a cabo en un digestor anaerobio el cual tendrá un diámetro de 1.5 metros y una altura de 2 metros, el tiempo de retención será de 10 días y se producirá una cantidad total de gas de 1.85 m³/d.

La última etapa del tratamiento de lodos es la deshidratación donde se conseguirá la máxima reducción del contenido de humedad del fango. Se utilizó el método de las eras de secado por ser la vía más económica y adecuada para el tamaño de la planta. En una era de secado convencional, los lodos se extienden sobre un lecho de arena y se deshidratan por drenaje a través de la masa de lodo y de arena, y por evaporación desde la superficie expuesta al aire. El lecho de arena tendrá dimensiones de 4 y 5 metros para el ancho y longitud respectivamente, el tiempo de retención designado será de 15 días y tendrá una capacidad de secado de 53.55 kg de lodos por aplicación.

El lodo seco obtenido de la línea de tratamiento de lodos podrá utilizarse como

enmiendas de suelo, siempre y cuando cumpla con los siguientes valores permisibles establecidos por la NTON 11044-14:

Tabla 38: Límites máximos permisibles de metales en biosólidos

Contaminante	Concentraciones Máximas (mg/kg) en base de peso seco
Arsénico	75
Cadmio	85
Cromo total	3000
Cobre	4300
Plomo	840
Mercurio	57
Níquel	420
Zinc	7500
Molibdeno	75
Selenio	100

Tabla 39: Límites máximos permisibles de concentraciones microbiológicas

Microorganismo	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales NMP/g	NMP/g	<1000
Salmonella sp NMP/g	UFC/25 g	<3
Huevos de Helmintos/g	U/30 g	<10

Según la NTON 11044-14 los biosólidos deben ser aplicados únicamente al suelo en las siguientes condiciones:

- a) Durante las labores culturales que requieran remoción del suelo y muy especialmente en suelos de baja fertilidad.
- b) Cuando la parte comestible de la planta no esté en contacto directo con el suelo.
- c) En suelos de uso forestal.
- d) Para la producción de forraje de pastoreo y corte.
- e) En suelos degradados, como medida de restauración.
- f) Para uso en sustratos en viveros.
- g) Para uso en jardines y fines ornamentales.
- h) Para el uso en áreas verdes, deportivas y recreación.
- i) Y otros que la Autoridad Nacional Competente establezca.

7.4 Balance de Contaminantes

Luego de haber dimensionado cada una de las unidades de tratamiento, se realiza un último paso correspondiente a la propuesta de diseño, el cual consiste en determinar la cantidad removida de cada contaminante presente en el afluente de aguas residuales por cada etapa y proceso unitario involucrado en el sistema de tratamiento (Acápite 6.4).

En la etapa de pretratamiento se considera despreciable la eliminación de parámetros como los sólidos suspendidos, DBO₅ y otros contaminantes presentes en el afluente, debido a que en esta etapa solo se separan las materias gruesas que afectan el funcionamiento de las unidades posteriores.

Las remociones tomadas para los sólidos suspendidos y la demanda biológica de oxígeno en la sedimentación primaria fueron las obtenidas en los cálculos como parte del diseño de esta etapa, obteniendo valores del 34% y 56% para la DBO y SST respectivamente. En la eliminación de los demás contaminantes se tomaron de igual forma los rangos de remoción establecidos en la bibliografía utilizada.

Seguidamente en el sistema de lodos activados comprendido entre el tanque de aireación y el sedimentador secundario, se tomaron remociones medias del 90% y 85% para la DBO y SST respectivamente. En la última etapa la cual comprende la desinfección se da la destrucción de patógenos y la reducción de coliformes totales y termotolerantes en un 99%.

Los valores de remoción utilizados para la realización de los balances de contaminantes fueron los descritos por Metcalf & Eddy (1998) y García (2017), se eligieron valores medios y mínimos de estos para aumentar el grado de confiabilidad del sistema de tratamiento propuesto.

7.5 Plan de Operación y Mantenimiento

Es importante tener un adecuado mantenimiento en el sistema con el fin de que se pueda prolongar la vida útil de todas las unidades. Al mantener estas unidades de tratamiento bajo control, todo el proceso no llegará a tener afectaciones negativas en la eficiencia de depuración a su vez será de importancia que se cuente con personal apto para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento. Es por ello que se requiere que los operadores tengan a su disponibilidad el Manual de Operación y Mantenimiento (Anexo E).

7.6 Recomendaciones de Gestión Ambiental

La información presentada en las Tablas 33 y 34 de resultados fueron obtenidas por la identificación de los principales aspectos a los que se les debe corregir y dar seguimiento con el propósito de establecer acciones preventivas y correctivas para poder desarrollar una serie de medidas de gestión del recurso en el Hospital.

Se debe tener en cuenta que la eficiencia en el uso de agua se asocia a cambios físicos en la instalación, a cambios de hábitos en todo el personal involucrado, así como en todos los usuarios que reciben atención médica, y que la implementación de medidas de reducción del consumo de agua no tiene ninguna repercusión en los estándares de confort de los usuarios del edificio.

Las recomendaciones que se proponen para lograr lo antes mencionado se establecen a continuación:

1. Establecer una política de gestión eficiente del agua donde el Hospital manifieste su compromiso con el ahorro de este recurso y se definan las principales actividades a desarrollar para lograr dicho objetivo.
2. Fijar un programa de mantenimiento preventivo para la detección y arreglo de fugas en los aparatos, equipos sanitarios y equipos de riego para evitar el derroche de agua.
3. Implementar el uso de medidores de flujo (caudalímetros) y contadores para el monitoreo y control del consumo de agua en cada uno de los edificios y áreas de atención del centro.
4. Instalar dispositivos ahorradores de agua en todas las instalaciones de consumo, entre los dispositivos más utilizados están:
 - ✓ Reductores de caudal en los grifos (servicios y cocinas), y duchas.
 - ✓ Aireadores/perlizadores en los grifos de servicios y cocinas.
 - ✓ Sistemas de descarga interrumpible en inodoros.
 - ✓ Difusores en el sistema de riego
5. Cambiar los aparatos instalados en servicios y vestuarios por aparatos más eficientes que contengan un fluxómetro o temporizador para minimizar el gasto de agua.

6. Emplear un sistema de riego de bajo consumo ya sea por aspersión, por goteo o por exudación y tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - ✓ Verificar el tiempo requerido de riego en función de las necesidades de cada terreno o área.
 - ✓ Es conveniente regar en las horas de menos calor para evitar perder agua por evaporación.
 - ✓ El riego debe plantearse con flexibilidad, adoptándolo a la meteorología y se debe comprobar el grado de humedad del suelo antes de regar.
 - ✓ Si se adopta el sistema de riego automatizado se puede hacer uso de sensores de lluvia y humedad para evitar el riego innecesario.
7. Utilizar un sistema de reuso y reciclaje, recogiendo las aguas provenientes de duchas, bañeras y lavado, darles previo tratamiento y reutilizarlas para alimentar las cisternas de los inodoros.
8. Aprovechar fuentes alternativas como la recogida de agua de lluvia para reducir el consumo de agua por riego en las zonas verdes.
9. Establecer un programa de control de vertidos, donde se realicen cada cierto tiempo los correspondientes estudios y análisis de los parámetros contaminantes para determinar si se encuentran bajo los límites exigidos por la legislación vigente.
10. Colocar carteles y rótulos en todas las áreas del hospital que insten a hacer un consumo racional y un uso adecuado de los dispositivos ahorradores de agua.
11. Impartir formación y realizar campañas para concientizar a los trabajadores, visitantes y pacientes sobre el ahorro del agua, las buenas prácticas de gestión eficiente, el manejo adecuado de residuos sólidos y en general sobre el cuidado y respeto al medio ambiente. Además de incluir actividades de clasificación, recogida y almacenaje para los residuos no peligrosos.
12. Recurrir a un plan de gestión de sólidos, por la falta de un incinerador en buen estado, esto con el fin de no tener la presencia de residuos peligrosos (patológicos, punzantes, e infecciosos) dentro de las instalaciones.

13. Desarrollar un plan de control y seguimiento del consumo por área y una contabilidad anual sobre el consumo total de agua en el hospital, en el cual se incluirá el volumen, ratios significativos, costes y evaluación de las medidas adoptadas para conseguir la reducción del gasto de agua.

7.6.1 Evaluación de las medidas de reducción

Una vez definidas las medidas y prácticas de gestión eficiente para cada uso del agua en el Hospital, se debe evaluar para cada medida propuesta las ventajas de su implantación, el ahorro de agua que se puede conseguir y los inconvenientes que se pueden tener para su aplicación. Los datos se resumen en la Tabla 40.

Tabla 40: Evaluación de las medidas de reducción del consumo de agua

Medida	Ventajas	Inconvenientes
Programa de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de fugas - Reducción del derroche de agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Compromiso del personal de mantenimiento. - Costos de inversión
Uso de caudalímetros	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo y control del consumo de agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Asignación de personal - Costos de inversión
Uso de dispositivos ahorradores de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del consumo de agua en un 40% 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de inversión
Sistema de riego automatizado	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro del agua - Uniformidad en el riego - Evita el riego innecesario 	<ul style="list-style-type: none"> - Vigilancia y mantenimiento - Costos de inversión
Reutilización del agua	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro de agua en un 35 - 40% - Una labor más eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento en las labores y operaciones de mantenimiento
Programa de control de vertidos	<ul style="list-style-type: none"> - Control sobre los desechos descargados a la red de saneamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de inversión para el análisis de los efluentes

VIII. CONCLUSIONES

Las aguas residuales hospitalarias constituyen una de las mayores fuentes de contaminación acuífera, causando grandes afectaciones en los cuerpos de agua donde son descargados y problemas a la salud de las personas que tengan contacto con estos vertidos.

Se determinó el caudal de aguas residuales provenientes de las actividades de atención del hospital, verificándose que la demanda de agua es de 757 L/cama día, valor que oscila dentro de los rangos generales para hospitales de países en desarrollo. El caudal promedio de aguas residuales fue de 53 m³/d, valor que se utilizó para el diseño del sistema de tratamiento.

Al realizar los análisis correspondientes a las muestras de agua residual, se logró la caracterización de esta, de donde se identificaron valores elevados en parámetros como los sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, sustancias activas al azul de metileno, nitrógeno, fósforo y coliformes. Así mismo el agua presentó concentraciones bajas en contaminantes como el arsénico y demás parámetros.

La relación DBO₅/DQO es mayor a 0.6, lo que indica que los residuos son bastante biodegradables. Por lo tanto, para tratar los efluentes se seleccionó el tratamiento de lodos activados por poseer altas remociones en la depuración de aguas residuales y con base en los resultados de la caracterización y criterios de diseño establecidos en la literatura se realizó la propuesta de alternativa de tratamiento.

El sistema propuesto fue evaluado teóricamente, utilizando porcentajes de remociones establecidos en la literatura. Los valores de remoción aseguran la eficiencia del tratamiento para mantener la concentración de los contaminantes por debajo de los valores máximos permisibles por las legislaciones utilizadas, proporcionando de esta manera una opción de vertimiento del efluente o reutilización del mismo sin altos riesgos a la salud por la calidad del agua.

Se realizaron recomendaciones de gestión ambiental a partir de la identificación de las instalaciones de agua que estuviesen fuera de servicio y que tengan o no fugas, tomando en cuenta los aspectos necesarios a corregir y que requieren dar seguimiento a través de las medidas preventivas y correctivas propuestas en las recomendaciones de gestión ambiental realizadas, las que permiten una correcta utilización del recurso agua por parte de todos los usuarios.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar dispositivos medidores de flujo para una mayor precisión en la determinación del caudal de aguas residuales generado y realizar dichas mediciones durante un periodo más extendido de tiempo para reducir en gran manera el margen de error y obtener así una muestra más representativa.

Una vez evaluada y aceptada la propuesta de diseño, se recomienda realizar estudios con asistencia técnica, para analizar la infraestructura y obra civil en general para la instalación del sistema de tratamiento propuesto. Así también la realización de un manual detallado de operación y mantenimiento para la planta.

Implementar un plan de gestión de residuos sólidos y uso eficiente del agua, lo que proporcionará una variedad de beneficios entre los cuales están: el poder cortar ciclos por infección abordando de manera fácil y eficaz en términos de costos los problemas de seguridad para los trabajadores de la salud y el poder reducir significativamente el consumo de agua en las instalaciones del hospital.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, K. Z., & Hammam, G. (2014). Correlation between biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand for various wastewater treatment plants in Egypt to obtain the biodegradability indices. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 13 (1), 42-48.
- Acebey, E. (2016). El agua tratamiento de aguas residuales hospitalaria. *Presupuesto y Construccion*.
- Code of Federal Regulations, (2003).
- Association, A. P. H. (1998). Standard methods for water and wastewater examination. *Washington (DC): American Public Health Association*.
- Blanco, S. R. B. (2017). *Construccion del hospital primario de Corn Island Managua*.
- Carraro, E., Bonetta, S., Bertino, C., Lorenzi, E., Bonetta, S., & Gilli, G. (2016). Hospital effluents management: chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. *Journal of environmental management*, 168, 185-199.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (1996). Standard methods for the examination of water and wastewater. *APHA, AWWA and WPCF, Washington DC*.
- Consejo de las Comunidades Europeas. (1991). Directiva del Consejo 91/271/CEE de 21 de Mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.
- Chartier, Y. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*: World Health Organization.
- Espinosa-Lloréns, M. d. C., León-Hernández, Y., & Rodríguez-Petit, X. (2013). Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 44.

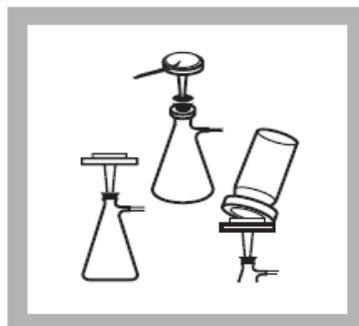
- Europeo, P. (2008). DIRECTIVA 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- Fajardo, D., & UICN, E. d. I. U. M. p. I. N. (2005). Plan de monitoreo para la planta de tratamiento de aguas residuales en el sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.
- Federation, W. E. (2008). *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants: Water Environment Federation.*
- Garcia, I. (2017). Curso de Fundamentos de Ingenieria Ambiental II. Universidad Nacional de Ingenieria.
- Gautam, A. K., Kumar, S., & Sabumon, P. (2007). Preliminary study of physico-chemical treatment options for hospital wastewater. *Journal of environmental management*, 83(3), 298-306.
- Gómez, G. I. G. (1995). Manual de analisis de aguas.
- HACH. (2000). Manual de análisis de agua. *Loveland, Colorado, EE. UU.*
- Ho, B., & Edith, L. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición.* Paper presented at the Curso Internacional Gestión Integral del Tratamiento de Aguas Residuales.
- Lin, S. D., & Lee, C. C. (2007). *Water and wastewater calculations manual* (Vol. 6): Mcgraw-hill New York.
- Marcelo, R., & Fanola, A. (2008). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN, FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.*
- MINSA, M. d. S. (2015). Gobierno Inaugura Ampliacion y Rehabilitacion de Planta de Tratamiento en Hospital de Ma tagalpa. Retrieved from <http://www.minsa.gob.ni/index.php/104-noticias-2015/2156-gobierno-inaugura-ampliacion-y-rehabilitacion-de-planta-de-tratamiento-en-hospital-de-matagalpa>

- Organizacion Mundial de la Salud, O. (2006). Guías para la calidad del agua potable 1, 398.
- Penagos, D. G., López, J. O., & Chaparro, T. R. (2012). REMOVAL OF ORGANIC MATTER AND TOXICITY IN HOSPITAL WASTEWATERS BY OZONE. 79, 109-115.
- Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*: Reverté.
- Romero, J. (2000). Tratamiento de aguas residuales. *Teoría y principios de diseño*, 3.
- Spellman, F. R. (2008). *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*: CRC press.
- Suarez, D. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas: IDEAM.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse, 4th edn. Metcalf & Eddy Inc: McGraw-Hill, New York.
- Verlicchi, P. (2017). *Hospital Wastewaters: Characteristics, Management, Treatment and Environmental Risks* (Vol. 60): Springer.
- Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2010). Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of Hydrology*, 389(3-4), 416-428.
- Water Environment Federation, I. W. M., Treatment, & Force, a. D. T. (2008). Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal, WEF Manual of Practice No. FD-3.
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater* (Vol. 1): World Health Organization.

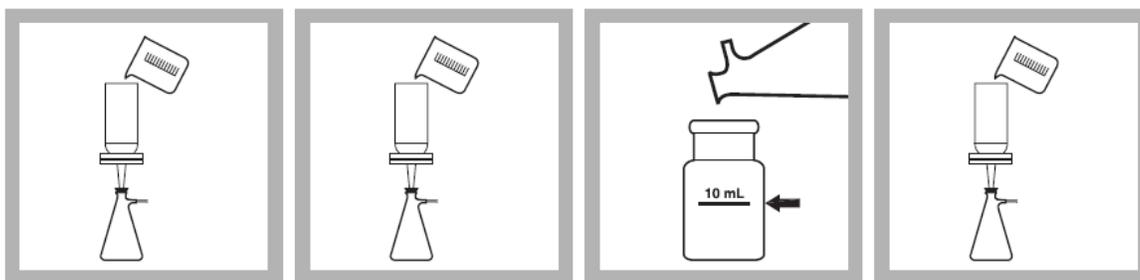
ANEXO A: DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

- **Color, Espectrometría HACH-8025**

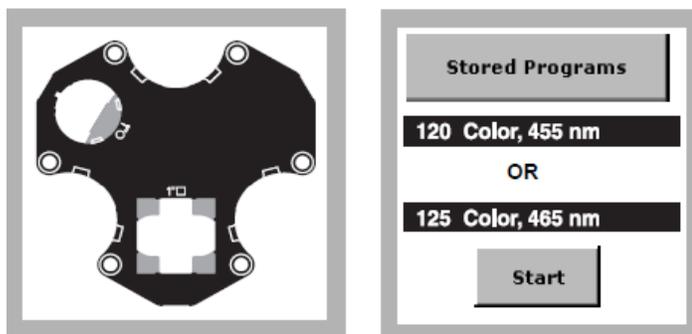
Ensamble el sistema de filtración al vacío y coloque el papel filtro Whatman 934-AG, Ø 47 mm.



1. Enjuague el papel filtro con 50 mL de agua desionizada. Haga succión con la bomba de vacío, descarte el agua filtrada de enjuague.
2. Coloque otros 50 mL de agua desionizada a través del filtro. Efectué succión con la bomba de vacío. Reserve el agua desionizada filtrada.
3. Llene una celda cuadrada de 10 mL con el agua filtrada en el paso anterior. Le llamaremos blanco. Coloque 50 mL de la muestra y fíltrela haciendo succión con la bomba de vacío.



4. Llene una segunda celda de 10 mL con la muestra filtrada.
5. Limpie la celda que contiene el blanco y la celda que contiene la muestra con papel toalla para eliminar cualquier interferencia que afecte la lectura.
 - a. Asegúrese de que antes de hacer las lecturas del blanco y la muestra, inserte el adaptador multiceldas con la cara de la celda hacia adelante. Seleccione el número del programa a utilizar.



6. Coloque la celda que contiene el blanco y presione la tecla que dice Zero, la pantalla del espectrofotómetro mostrará 0 units Pt-Co.
7. Coloque la celda que contiene la muestra, presione la tecla read, los resultados estarán en mg/L Pt-Co.



- **Temperatura**

Este parámetro puede ser medido en el momento de tomar las muestras usando un termómetro o leyéndolos directamente desde el pH-metro o usando un termómetro de mercurio.

- **pH, pH-metro HACH**

El pH metro debe calibrarse usando las soluciones buffer 4,7 y 10. Siempre se comienza con la solución buffer más baja y debe asegurarse que todas las soluciones estén a temperatura ambiente. Se enciende el pH metro y se sumerge el electrodo en la solución buffer de pH 4, se presiona la tecla *mode*, cuando esté listo aparecerá el valor y la palabra *ready* (listo), edítelo tocando la palabra *edit*, después continúe con las soluciones de pH 7 y 10.

1. Presione el botón POWER para encender el equipo.
2. Introduzca el electrodo en 100 mL de la solución a analizar asegurándose que los orificios del electrodo quedan completamente sumergidos en el líquido. Agite suavemente para que salga cualquier burbuja de aire atrapada.
3. Deje el electrodo en la solución hasta que se estabilice la lectura. Esto toma sólo algunos segundos si la temperatura de la solución y el electrodo son iguales. Pero si la diferencia de temperatura es mayor puede tardar hasta dos minutos para estabilizarse.
4. Cuando aparezca la palabra *ready*, significa que ese es el valor de pH de la muestra que usted está analizando.

- ***Sólidos Suspendidos Totales, SM 2540-D***

Principio

Se filtra una muestra bien mezclada con un filtro estándar de fibra de vidrio 934-AH de 47 mm de diámetro, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante en una cápsula a 103°C-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

Interferencias

Elimine de las muestras las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneas, si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final. Puesto que un residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, que limitará el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg.

- ***Sólidos Sedimentables SM 2540-F (Método del Cono Imhoff)***

Discusión general

Los sólidos sedimentables pueden ser determinados y expresado en función de un volumen (mL/L) o de un peso de mg/L. La prueba volumétrica requiere solamente de un cono de Imhoff y una probeta de 1 000 mL de plástico o vidrio según el tipo de agua analizada.

Procedimiento

Llene un cono de Imhoff hasta la marca de 1 000 mL con una muestra del agua bien mezclada. Deje sedimentar durante 45 minutos, suavemente agite la muestra de los lados el cono, deje la muestra sedimentar nuevamente, pero por 15 minutos. Luego registre el volumen de sólidos sedimentables como mg/L.

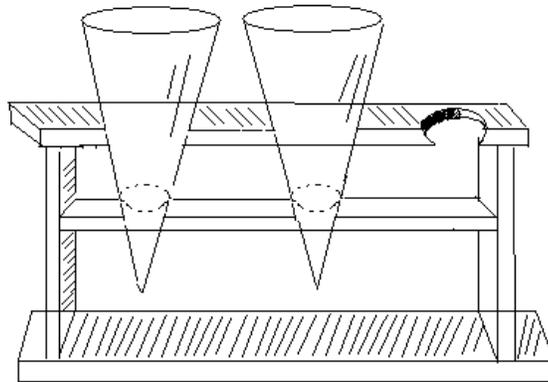


Figura A.1 Conos Imhoff

- **Cálculo**

$$\frac{mg \text{ de } SS}{L} = \frac{mg \text{ de } STS}{L} = \frac{mg \text{ de } SNS}{L} \quad (A.1)$$

Donde:

SS: Sólidos sedimentables

STS: Sólidos totales en suspensión

SNS: Sólidos no sedimentables

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxitop***

Tabla A.1: Materiales, equipo y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> - Papel toalla - 1 Balón de 432 mL - 1 Balón de 164 mL - 3 Botellas de DBO oscuras - 3 Magnetos de agitación - 1 Removedor de magneto - 6 Baterías de litio CR 2430 - 1 Pinza - 1 Espátula - 1 Pesa sustancia 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo Oxitop - Controlador Oxitop - Balanza analítica 	<ul style="list-style-type: none"> - 0.5 g de Inhibidor de nitrógeno o 5 gotas. - 2 Pastillas de Hidróxido de sodio, NaOH

Procedimiento

1. Encienda el equipo Oxitop y ajuste la temperatura a 20°C.



2. Remueva las cabezas amarillas y el tapón de hule color negro del cuello de las botellas oscuras para DBO.



3. Determine el volumen a utilizar usando la Tabla (2) y midiendo éste en el balón, procure que se forme un menisco convexo.

Tabla A.2: Volúmenes de muestra y factor de corrección

Volumen de Muestra (mL)	Rango de Medición (mg/L)	Factor
432	0 - 40	1
365	0 - 80	2
250	0 - 200	5
164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43,5	0 - 2 000	50
22,7	0 - 4 000	100

4. Ponga el volumen del balón dentro de la botella oscura, adicione cinco gotas de inhibidor de nitrógeno (o 0.5 g) e introduzca un magneto. Este procedimiento lo debe de realizar para las dos muestras de agua residual: industrial y doméstica.



5. En el tapón de hule color negro coloque dos pastillas de NaOH con una pinza. No las toque directamente con las manos.
6. Coloque la cabeza amarilla y cierre la botella.



7. Ponga la botella dentro del equipo Oxitop.



8. Para iniciar las cabezas, encienda el controlador del Oxitop presionando la tecla ON/OFF.



9. Presione la tecla donde aparece un icono del controlador enviando señal a la cabeza.



10. Coloque el controlador a una distancia máxima de 40 cm de cada cabeza.



11. Presione la tecla RUN/ENTER, para iniciar la cabeza.



12. Seleccione el rango de medición y presione nuevamente RUN/ ENTER.



13. Con las flechas direccionales del controlador cambie el número de cabeza e inicie la activación presionando nuevamente RUN/ENTER.

14. Después que la temperatura de incubación se ha alcanzado, el equipo iniciará automáticamente la medición de consumo de oxígeno (tarda dos horas).

15. Para realizar las mediciones primero, encienda el controlador del Oxitop presionando la tecla ON/OFF.



16. En la pantalla se mostrará la lista de las cabezas activadas al tocar el botón, seleccione el número de la muestra que desea leer y presione RUN/ENTER.



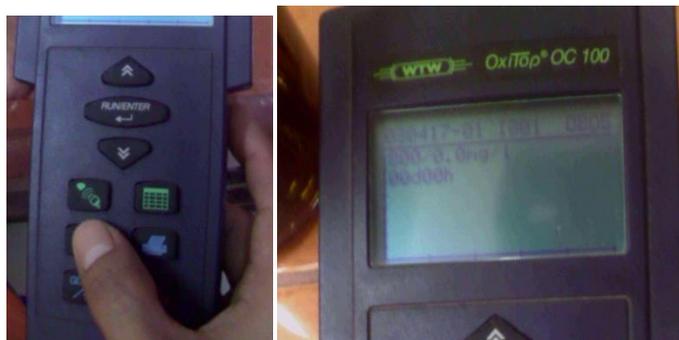
17. Seleccione con flechas direccionales la opción "llamar datos" y presione RUN/ENTER.



18. Presione la tecla del controlador que tiene el icono de una cuadrícula, en la pantalla aparecerá nuevamente la lista de las cabezas activadas.



19. Seleccione con las flechas direccionales el número de la muestra que desea leer y presione la tecla que tiene el icono de gráficas. En la pantalla aparecerá el comportamiento del consumo de oxígeno con respecto al tiempo de medición.



20. Al transcurrir cinco días, lea la lectura final y multiplique ese valor por el factor de dilución que aparece en la Tabla A.3

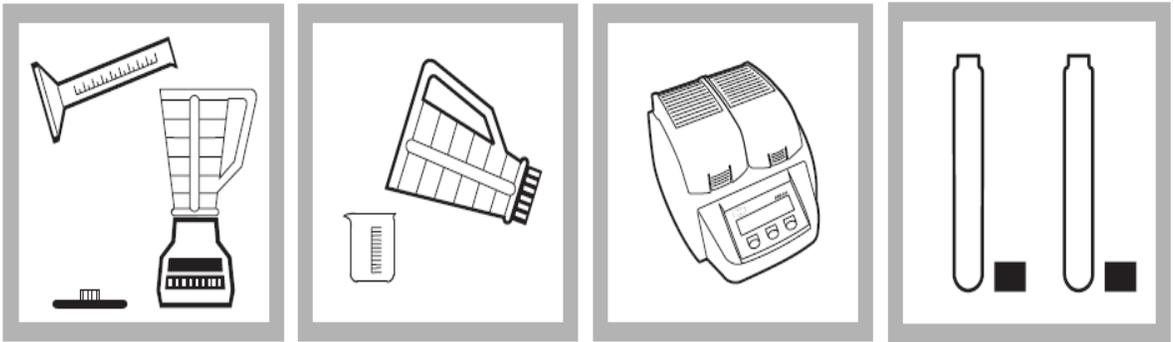
- ***Demanda Química de Oxígeno, Digestión de reactor, HACH-8000***

Tabla A.3: Materiales, equipos y reactivos

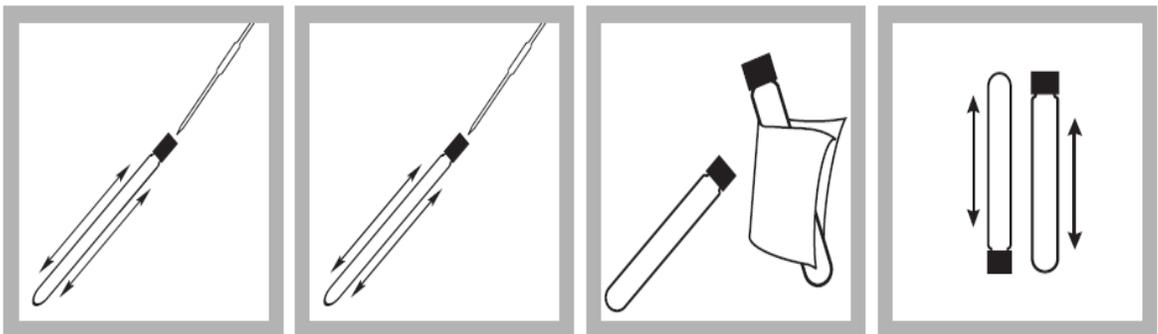
Materiales	Equipos	Reactivos
Papel toalla		
3 Pipetas volumétricas de 2 mL c/u	Aparato de digestión HACH	3 Viales de DQO de 2 mg/L a 1500 mg/L
1 Probeta de 100 mL	Espectrofotómetro HACH DR 5000	Agua desionizada
1 Beaker de 250 mL	Licudadora	
1 Rejilla	1 Agitador magnético	
1 Magneto		
1 Pizeta		
1 Removedor de magneto		
- 1 Pera de succión		

Procedimiento

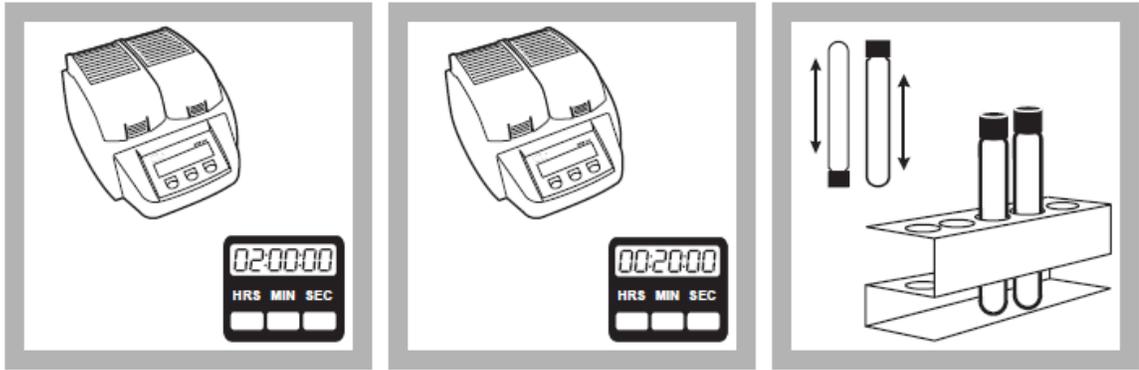
1. Homogenice 100 mL de muestra por 30 segundos en una licuadora, si la muestra no contiene sólidos suspendidos no es necesario hacer este paso.
2. Coloque la muestra homogenizada en un beaker de 250 mL con un magneto y agite.
3. Encienda el aparato de digestión a una temperatura de 150°C y prográmelo para un periodo de dos horas.
4. Destape tres viales que deberán estar colocados en una rejilla, la concentración de los viales deberá ser de 2 mg/L a 1500 mg/L.



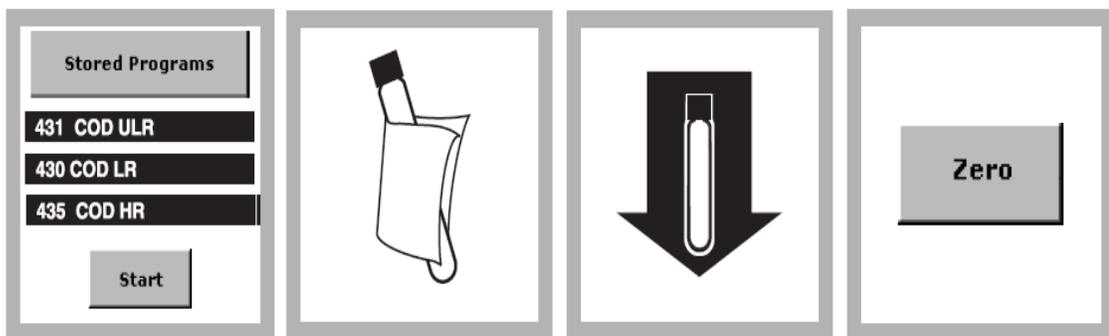
5. Coloque cada vial en un ángulo de 45°. Use una pipeta volumétrica de dos mL para adicionar la muestra del efluente industrial al primer vial. Tape el vial e inviértalo de arriba hacia abajo varias veces de manera suave. La reacción es exotérmica y por tanto el vial se calentará, tenga cuidado.
6. Repita el mismo paso para el segundo vial que contendrá el otro tipo de efluente, es decir el del tipo doméstico.
7. Repita el mismo paso, pero con agua desionizada, este vial será el blanco o testigo.
8. Rotule bien cada vial.



9. Active el proceso de digestión por dos horas a 150oC.
10. Pasada las dos horas, apague el equipo.
11. Saque los viales y colóquelos en una rejilla por 20 minutos hasta que se enfríen.



12. Encienda el espectrofotómetro HACH DR 5000 y seleccione el programa 430 CD LR.
13. Limpie el vial llamado blanco con un papel toalla suave y tómelolo de la tapa. Colóquelo en el espectrofotómetro y presione la tecla zero, en la pantalla aparecerá 0.00 mg/L.
14. Limpie el vial que contiene la muestra, tómelolo de la tapa y colóquelo en el espectrofotómetro. Presione la tecla read, en la pantalla aparecerá el valor de DQO en mg/L.



- **Aceites y Grasas Totales, SM 5520-D**

Recogida, preservación y almacenamiento de muestras

Recolecte réplicas en sucesión rápida, en paralelo o en un recipiente grande con agitación mecánica (en este último caso, porciones individuales de sifón). Típicamente, recolecta muestras de aguas residuales de aproximadamente 1 L.

Si se espera que la concentración de la muestra sea mayor a 1000 mg de material extraíble / L, recolecte volúmenes proporcionalmente más pequeños. Si el análisis debe retrasarse durante más de 2 h, acidifíquese a pH 2 o inferior con HCl 1: 1 o con H₂SO₄ 1: 1 y refrigere. Cuando se requiere información sobre la concentración promedio de grasa durante un período prolongado, examine las porciones individuales recolectadas a intervalos de tiempo prescritos para eliminar las pérdidas de grasa en el equipo de muestreo durante la recolección de una muestra compuesta.

En los lodos de muestreo, tome todas las precauciones posibles para obtener una muestra representativa. Cuando no se pueda realizar el análisis dentro de las 2 h, conserve las muestras con 1 mL de HCl concentrado / 80 g de muestra y refrigere. Nunca conservar muestras con CHCl₃ o benzoato de sodio

Tabla A.4: Materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Embudo Buchner, 12 cm.	Soxhlet con matraz de extracción, 125 mL	Ácido Clorhídrico HCl, 1+1
Papel filtro, 11 cm de diámetro # (121)	Cartucho de extracción	n-Hexano
Perlas de vidrio	Adaptador de destilación con punta de goteo	Metil-tert-butil éter
Disco de tela de muselina, 11 cm de diámetro	Manto de calefacción eléctrica	Suspensión auxiliar del filtro de sílice de diatomeas, † # (122) 10 g / L de agua destilada.
Baño de agua, capaz de mantener 85 °C	. Bomba de Vacío	
Baño de hielo	Desecador	

Procedimiento

1. Cuando la muestra se lleva al laboratorio, marque el frasco de muestra en el menisco o pese el frasco para la determinación posterior del volumen. Si la muestra no se ha acidificado previamente, acidifíquese con HCl 1: 1 o H₂SO₄ 1: 1 a pH 2 o inferior (generalmente, 5 mL es suficiente).
2. Prepare el filtro que consiste en un disco de tela de muselina cubierto con papel de filtro. Moje papel y muselina y presione los bordes del papel. Usando vacío, pase la suspensión de 100 mL de filtro de ayuda a través del filtro preparado y lave con 1 L de agua destilada. Aplique vacío hasta que no pase más agua por el filtro.
3. Filtrar la muestra acidificada, aplique vacío hasta que no pase más agua a través del filtro. Con unas pinzas, transfiera el filtro completo a un cristal de reloj. Agregue el material que se adhiere a los bordes del disco de tela de muselina. Limpie los lados y la parte inferior del recipiente colector y el embudo Buchner con trozos de papel de filtro empapados en disolvente de extracción, teniendo cuidado de eliminar todas las películas causadas por la grasa y de recoger todo el material sólido.
4. Agregue trozos de papel de filtro al material en el cristal de reloj. Enrolle todo el material de filtro que contenga la muestra y colóquelo en un cartucho de extracción. Agregue cualquier pieza de material restante en el cristal de reloj.
5. Limpie el vidrio del reloj con un papel de filtro empapado en solvente de extracción y colóquelo en el dedal de extracción. Secar el dedal relleno en un horno de aire caliente a 103 ° C durante 30 minutos. Llene el dedal con lana de vidrio o cuentas de vidrio pequeñas. Pesar el matraz de extracción y agregar 100 ml de disolvente de extracción (n-hexano).
6. Extraiga aceite y grasa en un aparato Soxhlet, a una velocidad de 20 ciclos / h durante 4 h. Tiempo desde el primer ciclo. Para extraer y recuperar el disolvente, enfriar el matraz de extracción antes de pesarlo y determinar el volumen de muestra inicial.

Cálculo

Si el disolvente orgánico está libre de residuos, la ganancia en peso del matraz de destilación tarado se debe al aceite y a la grasa. La ganancia total en peso, A, del matraz tarado, residuo menos calculado del blanco de disolvente, B, es la cantidad de aceite y grasa en la muestra. Dada por la ecuación:

$$\text{mg aceite y grasa/L} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{mL muestra}} \quad (\text{A.2})$$

- **Materia Flotante**

Materiales

- Malla de acero inoxidable con abertura entre 2,8 mm y 3,3 mm.
- Recipiente de boca ancha no menor de 7 cm de diámetro, con un volumen que se encuentre entre 3 L y 5 L.
- Agitador de vidrio con gendarme
- Espátula.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

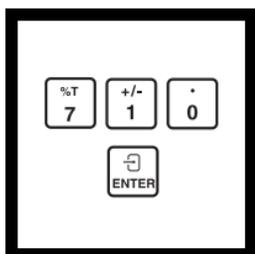
1. Debe tomarse un mínimo de 3 L de muestra. La muestra debe ser simple y tomada directamente de la descarga.
2. El análisis debe realizarse en campo.
3. No se debe preservar la muestra.
4. El tiempo máximo previo al análisis no aplica.

Procedimiento

1. Verter aproximadamente 3/4 partes de la muestra a través de la malla, teniendo cuidado de que la materia flotante que sobrenada, quede retenida en dicha malla.
2. Arrastrar con agitador de vidrio o una espátula hacia la malla toda aquella materia flotante que quedara sobre la superficie de la muestra que se está vertiendo o aquella adherida a las paredes del recipiente.
3. Interpretación

- Inmediatamente después de filtrar la muestra, se procede al examen de la malla.
- El informe depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla. Reportar como ausencia de materia flotante, si al examinar la malla no se observa a simple vista ninguna partícula retenida. Reportar como presencia de materia flotante, si al revisar visualmente la malla se encuentran partículas retenidas.

• **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

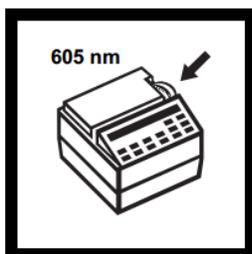


1. Ingresar el número de programa almacenado para los surfactantes aniónicos.

Presionar: **7 1 0 ENTER**

En la pantalla se verá:
Fijar nm par 605

Nota: No se puede utilizar la celda de flujo con este procedimiento.



2. Girar el cuadrante de la longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre:

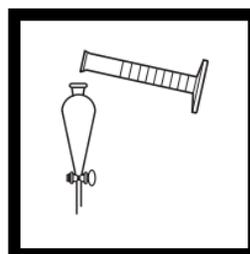
605 nm

Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente:

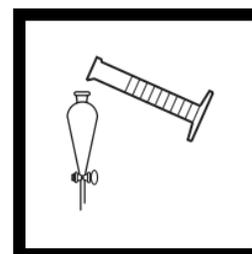
Muestra cero

luego:

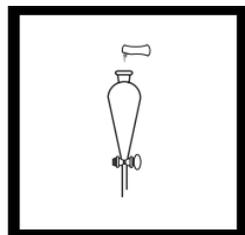
mg/L SURF. ANION



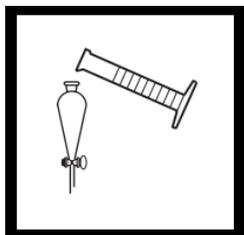
3. Llenar una probeta limpio de 500 ml hasta la marca de 300 ml con la muestra. Verter la muestra dentro de una ampolla de decantación de 500 ml.



4. Agregar 10 ml de la solución tampón del sulfato. Tapar la ampolla. Agitar la ampolla durante cinco segundos.



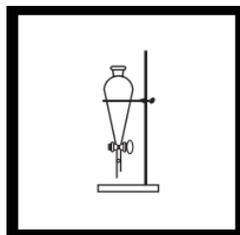
5. Agregar los contenidos de una bolsa de polvo del reactivo de detergentes a la ampolla. Tapar el embudo y agitar para disolver el polvo.



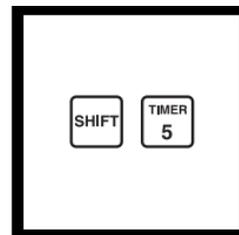
6. Agregar 30 ml de benceno a la ampolla. Tapar el embudo y agitar suavemente durante un minuto.

Nota: El reactivo derramado afectará la exactitud de la prueba y es perjudicial para la piel y otros materiales.

Nota: Utilizar benceno únicamente en un área bien ventilada.



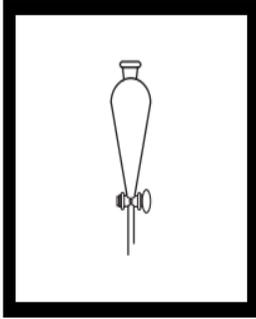
7. Colocar la ampolla de decantación en un soporte de apoyo.



8. Presionar:
SHIFT TIMER

Comenzará un período de reacción de 30 minutos.

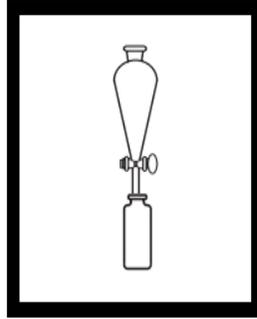
Nota: La agitación excesiva puede provocar una emulsión a la forma, lo cual requeriría un período más prolongado para la fase de separación. Para estas muestras, extraer la mayor parte de la capa de agua, luego agitar suavemente la ampolla con un objeto inerte limpio dentro del embudo como una barra de agitadora magnética cubierta con teflón.



9. Después que suene el cronómetro, en la pantalla se verá:

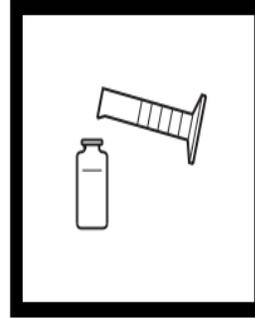
mg/L SURF. ANION

Extraer el tapón y drenar la capa de agua inferior. Descartar esta capa.

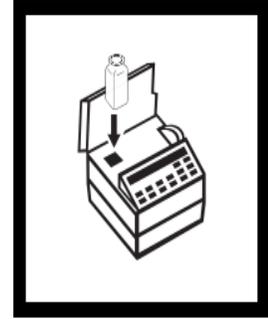


10. Drenar la capa de benceno superior dentro de una celda de muestra limpia de 25 ml (la muestra preparada).

Nota: La capa de benceno no se puede filtrar antes de medir el color. El filtrado quita el color azul.



11. Llenar la celda de muestra hasta la marca de 25 ml con benceno puro (el blanco).



12. Colocar el blanco en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.



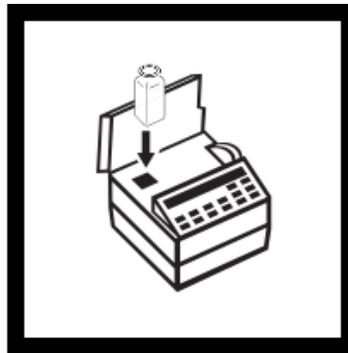
13. Presionar: **ZERO**

En la pantalla se verá:

Puesta a cero...

luego:

0.000 mg/L SURF. ANION



14. Colocar la muestra preparada en el soporte de la celda. Cerrar el escudo para la luz.



15. Presionar: **READ**

En la pantalla se verá:

Leyendo...

luego, se verá el resultado en mg/l de surfactantes aniónicos.

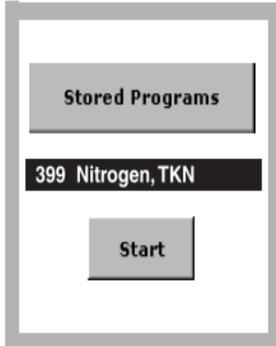
Nota: Se puede utilizar acetona para limpiar el benceno de los utensilios.

Nota: La muestra preparada y el blanco se deben desechar de acuerdo con el Estado federal actual y las reglamentaciones locales para el benceno.

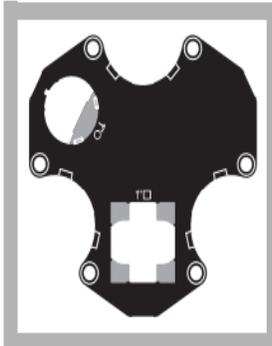
• **Nitrógeno Total**

Nessler

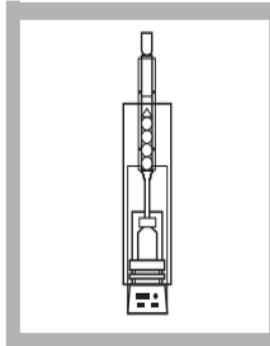
Method 8075



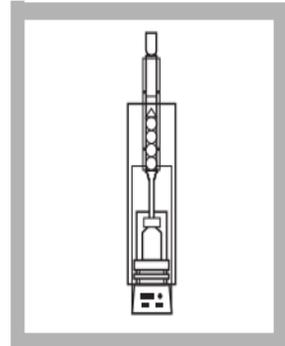
1. Select the test.



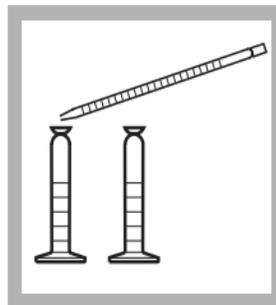
2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.



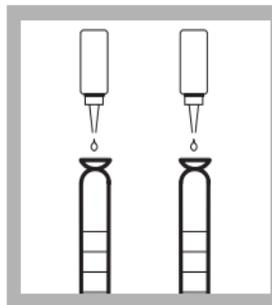
3. **Prepared Sample:** Digest the sample amount as described in the Digesdahl® Digestion Apparatus Instruction Manual.



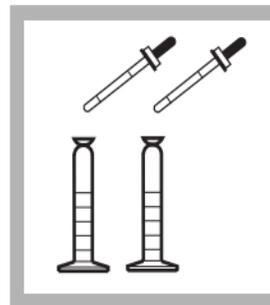
4. **Blank Preparation:** Digest an equal amount of deionized water as the blank.



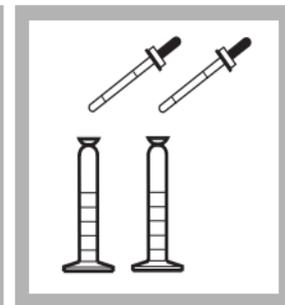
5. Select the appropriate analysis volume of the digested sample given in [Table 3 on page 4](#). Pipet the analysis volume from the sample and the blank into separate 25-mL mixing graduated cylinders.



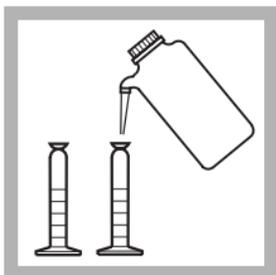
6. Add one drop of TKN Indicator to each cylinder.



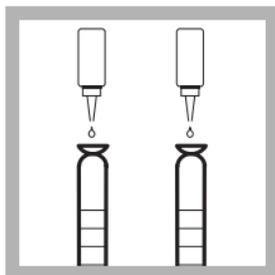
7. If the aliquot is less than 1 mL, proceed to step 8. If it is greater than 1 mL, add drops of 8.0 N KOH to each cylinder until the first flash of blue color appears. Stopper and invert the cylinder after each addition. Proceed to the next step.



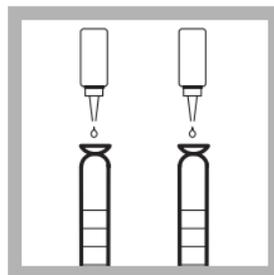
8. Add 1.0 N KOH to each cylinder, one drop at a time, mixing after each addition. Continue until the first permanent blue color appears.



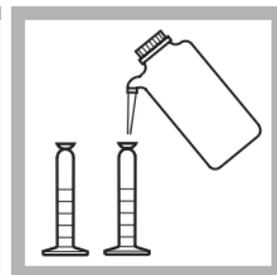
9. Fill both cylinders to the 20-mL mark with deionized water.



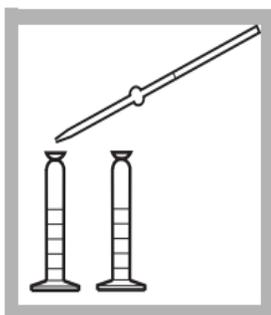
10. Add three drops of Mineral Stabilizer to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.



11. Add three drops of Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent to each cylinder. Stopper and invert several times to mix.

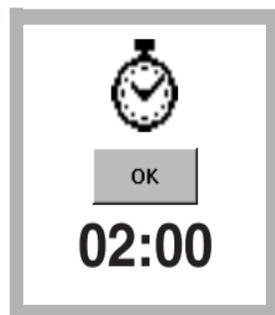


12. Fill both cylinders to the 25-mL mark with deionized water. Stopper and invert several times to mix.



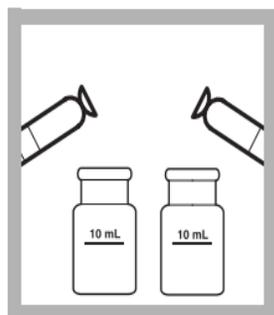
13. Pipet 1.00 mL of Nessler's Reagent to each cylinder. Stopper and invert repeatedly.

The solution should not be hazy. Any haze (turbidity) will cause incorrect results.



14. Press **TIMER>OK**.

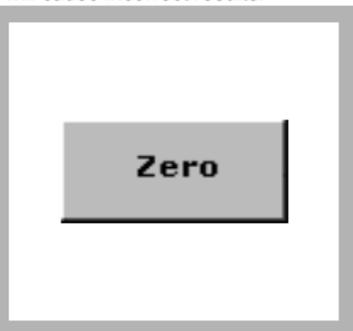
A two-minute reaction period will begin.



15. When the timer expires, pour the contents of each cylinder into separate square sample cells.



16. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing the user.



17. Press **ZERO**. The display will show: 0 mg/L TKN



18. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing the user. Results are in mg/L TKN.



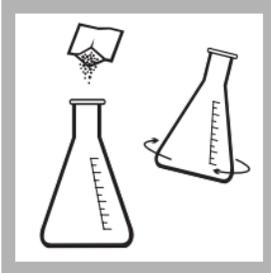
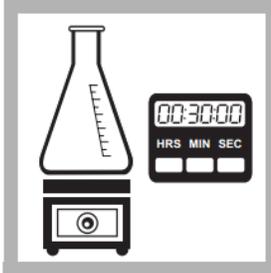
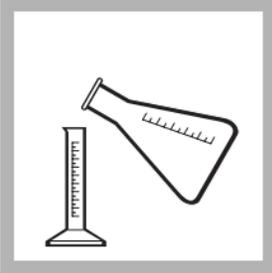
19. Calculate sample TKN as follows:

$$\text{ppm TKN} = \frac{75 \times A}{B \times C}$$

Where:

A = mg/L read from the display
 B = g (or mL of water) sample taken for digest
 C = mL analysis volume of digested sample

- **Fósforo Total**

Acid Digestion			Method 8190							
										
<p>1. Use a graduated cylinder to measure 25 mL of sample. Pour the sample into a 125-mL Erlenmeyer flask.</p>	<p>2. Add the contents of one Potassium Persulfate Powder Pillow. Swirl to mix.</p>	<p>3. Use a 1-mL calibrated dropper to add 2.0 mL of 5.25 N Sulfuric Acid Solution to the flask.</p>	<p>4. Place the flask on a hot plate. Boil gently for 30 minutes. Do not boil dry.</p> <p>Concentrate the sample to less than 20 mL for best recovery. After concentration, maintain the volume near 20 mL by adding small amounts of deionized water. Do not</p>							
			<table border="1"> <tbody> <tr><td>480 P React. Mo.</td></tr> <tr><td>482 P React. Mo. AV</td></tr> <tr><td>485 P React. Amino</td></tr> <tr><td>490 P React. PV</td></tr> <tr><td>492 P React. PV AV</td></tr> <tr><td>535 P React. PV TNT</td></tr> <tr><td>540 P React. HR TNT</td></tr> </tbody> </table>	480 P React. Mo.	482 P React. Mo. AV	485 P React. Amino	490 P React. PV	492 P React. PV AV	535 P React. PV TNT	540 P React. HR TNT
480 P React. Mo.										
482 P React. Mo. AV										
485 P React. Amino										
490 P React. PV										
492 P React. PV AV										
535 P React. PV TNT										
540 P React. HR TNT										
<p>5. Cool the sample to room temperature.</p>	<p>6. Use a 1-mL calibrated dropper to add 2.0 mL of 5.0 N Sodium Hydroxide Solution to the flask. Swirl to mix.</p>	<p>7. Pour the sample into a 25-mL graduated cylinder. Adjust the volume to 25 mL with deionized water rinsings from the flask.</p>	<p>8. Proceed with a reactive phosphorus test of the expected total phosphorus concentration range.</p> <p>Extend the color development time to 10 minutes for the PhosVer 3 method.</p>							

- **Coliformes, Termotolerantes y Totales**

El método de filtrado de membrana (MF) es una manera rápida y simple de estimar las poblaciones bacterianas en el agua. El método MF es especialmente útil al evaluar grandes volúmenes de muestras o al realizar diariamente muchas pruebas de coliformes.

En el primer paso, se filtra un volumen de muestra apropiado a través de un filtro de membrana con poros lo suficientemente pequeños (0,45 micrones) como para retener las bacterias. El filtro se coloca en una almohadilla absorbente (en una

caja Petri) saturada con un medio de cultivo selectivo para el crecimiento del coliforme. La caja Petri que contiene el filtro y la almohadilla se incuba en posición invertida durante 24 horas a una temperatura apropiada. Después de la incubación, las colonias que se han formado se identifican y recuentan utilizando un microscopio de poco aumento.

Preparación de los materiales

Para ahorrar tiempo, encienda la incubadora mientras prepara los demás materiales. Programe la incubadora en el ajuste de temperatura adecuado que se describe en el procedimiento (habitualmente los coliformes totales se incuban a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y los coliformes fecales se incuban a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).

Desinfecte el banco de trabajo con un paño germicida, soluciones blanqueadoras diluidas, pulverizador bactericida o solución de yodo diluida. Lávese bien las manos con agua y jabón. Marque cada recipiente de muestra con el número, dilución, fecha y otra información necesaria sobre la muestra. Evite contaminar el interior del recipiente de la muestra

Utilización del medio y los equipos previamente esterilizados

Deberá utilizar materiales estériles, un área de trabajo desinfectada y técnicas de manipulación adecuadas. De modo contrario, la contaminación podría alterar los resultados. Para simplificar la técnica y minimizar la posibilidad de contaminación, utilice medio y equipo previamente esterilizado.

Preparación de los recipientes de la muestra

Botellas y bolsas plásticas previamente esterilizadas: Se debe tener sumo cuidado para evitar la contaminación al realizar las pruebas bacterianas. Todos los materiales utilizados para almacenar o transferir las muestras deben estar esterilizados.

Botellas plásticas o de vidrio autoclaves: Las bolsas plásticas pueden reemplazarse por botellas plásticas o de vidrio (125 mL como mínimo). Prepare estos recipientes como se indica a continuación:

1. Lávelos con agua caliente y detergente.
2. Enjuague cuidadosamente con agua corriente caliente y luego enjuague

nuevamente con agua desionizada para asegurarse de haber eliminado todo resto de detergente.

3. Si es necesario un agente desclorador (para el agua potable clorada), agregue 1 bolsa de polvo del reactivo desclorador para cada recipiente de la muestra de 125 mL. Agregue 2 bolsas de polvo al recipiente de la muestra de 250 mL.
4. Esterilice con vapor los recipientes plásticos o de vidrio a 121°C durante 15 minutos. Los recipientes de vidrio pueden esterilizarse por medio de calor seco a 170°C durante 1 hora.
5. Almacene recipientes estériles cerrados herméticamente en un ambiente limpio hasta el momento de su utilización.

Utilización del aparato de filtrado en campo

1. Esterilice con llama la superficie superior del Soporte de vacío en campo de acero inoxidable.
2. Inyecte la aguja de la jeringa en el tubo del soporte de vacío.
3. Con una pinza esterilizada, coloque un filtro de membrana, con la rejilla hacia arriba, en el centro del soporte de vacío.

Nota: *Para esterilizar las pinzas, sumérgalas en alcohol y quémelas en el alcohol o en un mechero de Bunsen. Deje enfriar antes de utilizar las pinzas.*

4. Abra un paquete de embudos (comience desde el fondo del paquete). Retire un embudo (primero la base) del paquete.
5. Coloque el embudo en el soporte de vacío. No toque el interior del embudo. Presione en forma uniforme el borde superior del embudo para encajarlo en el soporte de vacío.
6. Vierta la muestra en el embudo.
7. Extraiga la muestra con la jeringa a través del aparato de filtrado.

Nota: *Vea los procedimientos específicos para conocer el volumen de muestra requerido.*

8. Retire el embudo.
9. Presione la palanca en el vástago del soporte de vacío para levantar el filtro de membrana de la superficie del soporte de vacío.
10. Utilice pinzas esterilizadas para retirar el filtro de membrana.
11. Coloque el filtro de membrana en una caja Petri preparada e incube según la forma adecuada.

12. Retire la aguja de la jeringa del tubo del soporte de vacío. Vacíe la jeringa.
13. Siga los pasos del 1 al 12 para filtrar las muestras restantes.

Utilización del aparato de autoclave

Cuando se deben realizar numerosas muestras de rutina, quizás prefiera utilizar una autoclave para los materiales no descartables.

1. Lave las botellas de muestras, pipetas, cajas Petri, soportes de filtro con tapón y probeta (de ser necesario) con agua caliente y detergente.
2. Enjuague varias veces con agua corriente y luego con agua desionizada. Seque bien todos los recipientes.
3. Prepare todo el equipo para autoclave.
 - Enrosque sin ajustar demasiado las tapas de las botellas y cubra las tapas y cuellos de botella con papel o lámina metálicos.
 - Cubra las aberturas de las probetas con papel o lámina metálicos.
 - Inserte la base del embudo del filtro en un tapón de goma de autoclave que encaja en el frasco del filtro.
 - Envuelva ambas partes del conjunto del embudo del filtro por separado en papel de envolver pesado y selle con cinta de enmascarar.
 - Envuelva las cajas Petri (vidrio con 5% de óxido de boro) con papel o colóquelas en latas inoxidables o de aluminio.
4. Esterilice el equipo en autoclave a 121°C durante 15 minutos. Los utensilios de vidrio con 5% de óxido de boro pueden esterilizarse con calor seco a 170°C durante un mínimo de 1 hora.

Preparación del conjunto del filtro en autoclave

Desinfecte el área o banco de trabajo con un paño germicida, solución blanqueadora diluida o solución de yodo diluido. Lávese bien las manos con agua y jabón.

1. Después de la esterilización, desenvuelva el embudo del filtro.
2. Evite contaminar el embudo, teniendo cuidado de no tocar las superficies interiores a las que se expondrá la muestra.
3. Inserte el embudo con el tapón de goma en el frasco de filtrado el distribuidor del embudo del filtro y conecte el frasco o distribuidor con la trampa de agua y

- el aspirador con el tubo de goma.
4. Con pinzas esterilizadas, coloque un filtro de membrana esterilizada en la base del filtro y adose la parte superior del embudo del filtro.
 5. Filtre una pequeña cantidad de agua de dilución tamponada esterilizada por el embudo para asegurar un sellado apropiado en el filtro y las conexiones antes de filtrar la muestra.

Acopio y conservación de las muestras

El muestreo debe realizarse adecuadamente para asegurar que se detecten las variaciones estacionales y que los resultados sean representativos de la fuente de la muestra.

Acopie un volumen de muestra suficiente para analizar (generalmente 100 mL de muestra como mínimo). Los lineamientos de la Organización internacional de la salud prescriben 200 mL por muestra mientras que los lineamientos de Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales prescriben 100 mL por muestra. Evite la contaminación de la muestra durante el acopio.

No es necesaria la descloración si la muestra se agrega directamente al medio en el sitio. En caso contrario, se debe tratar las muestras para destruir los restos de cloro y transportarlas para analizarlas inmediatamente después del acopio. Por lo general, para destruir los residuos de cloro se utiliza tiosulfato de sodio esterilizado dentro del recipiente de acopio.

Analice las muestras lo antes posible después del acopio. El tiempo máximo transcurrido entre el acopio de la muestra y el examen no deberá superar las 8 horas en el caso de las muestras de agua no potable y 30 horas en el caso de las muestras de agua potable. En caso de que el tiempo transcurrido entre el acopio y el análisis exceda las 8 horas, para obtener mejores resultados mantenga la muestra a 10°C o por debajo de esta temperatura, pero no la congele. Si el acopio y el transporte de las muestras no se realizan adecuadamente, los resultados obtenidos serán inexactos.

Acopie al menos 100 mL de muestra en botellas o bolsas plásticas previamente esterilizadas. No llene los recipientes de muestra por completo. Mantenga al menos 2,5 cm (aproximadamente) de aire para permitir mezclar la muestra antes del análisis.

Grifos, bocas de riego y bombas

Acopie muestras representativas dejando correr el agua del grifo, boca de riego o bomba a una frecuencia moderada sin salpicar, durante 2 o 3 minutos antes de tomar la muestra. No ajuste el índice de flujo mientras se toma la muestra. Se debe evitar acopiar muestras si existen válvulas, grifos o espitas flojos, con pérdidas o con agregados tales como aireadores o pantallas; en el último caso se pueden acopiar muestras retirando previamente los agregados.

Manipule los recipientes de muestra con sumo cuidado. Abra el recipiente de la muestra cuidadosamente en el momento del acopio y ciérrelo inmediatamente después del acopio. No presione la tapa y evite el contacto cerca de las aberturas de los recipientes. No toque el interior de los recipientes. No enjuague los recipientes. Identifique los recipientes de muestra adecuadamente por medio de etiquetas y analice las muestras lo antes posible después del acopio.

Ríos, lagos y represas: Al realizar un muestreo de un río, lago o represa, no recolecte la muestra cerca de la orilla. Retire la tapa, sostenga el recipiente cerca del suelo y sumérjalo, con la boca hacia abajo, dentro del agua para evitar la espuma de la superficie. Llene el recipiente colocando la boca contra la corriente o, en aguas quietas, inclinándolo levemente la botella para permitir que se llene lentamente. Asegúrese de que se sumerja todo el recipiente. No enjuague. Identifique los recipientes de muestra inmediatamente por medio de etiquetas y analice las muestras lo antes posible después del acopio.

Tamaño de la muestra: Los volúmenes ideales de la muestra para la prueba de coliformes fecales rinden aproximadamente de 20 a 60 colonias coliformes por filtro. Para lograr esta situación ideal, se deben filtrar 3 volúmenes diferentes para las muestras donde el número de coliformes es incierto. En la tabla siguiente se muestra una lista de volúmenes recomendados para varios tipos de muestras.

Cuando una muestra es menor que 20 mL (diluida o sin diluir), se deben agregar 10 mL de agua de dilución esterilizada al embudo del filtro antes de aplicar vacío. Esto ayuda a la distribución uniforme de la bacteria por todo el filtro de membrana.

Tabla A.5: Volúmenes de muestra sugeridos para la prueba de coliformes totales de filtro de membrana

Fuente de agua	Volumen a filtrar (mL)							
	100	50	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
Agua potable	X							
Piscinas	X							
Pozos, manantiales	X	X	X					
Lagos represas	X	X	X					
Toma de suministro de agua			X	X	X			
Playas balnearias			X	X	X			
Agua de río				X	X	X	X	
Aguas cloacales cloradas				X	X	X		
Aguas cloacales sin tratar					X	X	X	X

Fuente: Hach Company, 2000.

Tabla A.6: Volúmenes de muestra sugeridos para la prueba de coliformes termotolerantes de filtro de membrana

Fuente de agua	Volumen a filtrar (mL)							
	100	50	10	1	0.1	0.01	0.001	
Lagos, represas	X	X						
Pozos, manantiales	X	X						
Toma de suministros de agua		X	X	X				
Aguas naturales de baño		X	X	X				
Planta de tratamiento de aguas cloacales, efluente secundario			X	X	X	X		
Lagunas de granjas, ríos				X	X	X		
Agua de tormenta acumulada				X	X	X		
Aguas cloacales municipales sin tratar					X	X	X	
Agua de criadero					X	X	X	

Fuente: Hach Company, 2000.

Dilución de las muestras

Como se indica en la tabla anterior, pueden necesitarse volúmenes muy pequeños para evaluar las muestras de agua con alto contenido de coliformes. Dado que resulta prácticamente imposible medir estos pequeños volúmenes con exactitud, se debe realizar una serie de diluciones. El siguiente procedimiento describe un método para preparar una serie de diluciones.

Técnica de dilución

1. Lávese las manos.
2. Abra una botella del agua de dilución tamponada esterilizada.
3. Agite enérgicamente el recipiente de acopio de la muestra, aproximadamente 25 veces.
4. Utilice una pipeta de transferencia esterilizada para colocar con la pipeta la cantidad necesaria de muestra en el agua de dilución tamponada.
5. Tape la botella de agua de dilución tamponada y agite enérgicamente 25 veces.
6. Si se precisan más diluciones, repita los Pasos 3 a 5 utilizando pipetas esterilizadas y limpias y botellas adicionales de agua de dilución tamponada.

Series de dilución

1. **Si se requiere una muestra de 10 mL:** Transfiera 11 mL de la muestra en 99 mL de agua de dilución tamponada esterilizada. Filtre 100 mL de esta dilución para obtener la muestra de 10 mL.
2. **Si se requiere una muestra de 1 mL:** Transfiera 11 mL de la dilución de 10 mL de A en 99 mL de agua de dilución tamponada esterilizada. Filtre 100 mL de esta dilución para obtener la muestra de 1 mL.
3. **Si se requiere una muestra de 0,1 mL:** Transfiera 11 mL de la dilución de 1 mL de B en 99 mL de agua de dilución tamponada esterilizada. Filtre 100 mL de esta dilución para obtener la muestra de 0,1 mL.
4. **Si se requiere una muestra de 0,01 mL:** Transfiera 11 mL de la dilución de 0,1 mL de C en 99 mL de agua de dilución tamponada esterilizada. Filtre 100 mL de esta dilución para obtener la muestra de 0,01 mL.
5. **Si se requiere una muestra de 0,001 mL:** Transfiera 11 mL de la dilución de 0,01 mL de D en 99 mL de agua de dilución tamponada esterilizada. Filtre 100 mL de esta dilución para obtener la muestra de 0,001 mL.

6. **Si se requiere una muestra de 0,0001 mL:** Transfiera 11 mL de la dilución de 0,001 mL de E en 99 mL de agua de dilución tamponada esterilizada. Filtre 100 mL de esta dilución para obtener la muestra de 0,0001 mL.

Eliminación de las pruebas completadas

Los cultivos bacterianos activos que se generaron durante la incubación deben desecharse en forma segura. Para tal fin, puede utilizarse cualquiera de los siguientes métodos:

Blanqueador

Los recipientes utilizados en las pruebas pueden esterilizarse con una solución blanqueadora del 10%. (Prepare esta solución mezclando 10 partes de blanqueador comercial con 90 partes de agua). Agregue de 5 a 10 ml de solución blanqueadora preparada a cada recipiente utilizado para la prueba. Deje actuar durante 10 a 15 minutos. Vierta el líquido en el desagüe, luego deseche los recipientes de manera habitual.

Autoclave

Coloque los recipientes utilizados para la prueba en una bolsa para elementos contaminados o perjudiciales para el medio ambiente y séllela herméticamente. Los recipientes de la prueba deben colocarse en una bolsa antes del autoclave para evitar la fuga dentro del autoclave.

Esterilice en autoclave los recipientes utilizados para la prueba, en una bolsa a 121°C durante 30 minutos a una presión de 15 libras. Una vez esterilizados, los recipientes de la prueba pueden desecharse de manera habitual. Coloque la bolsa con los recipientes de la prueba en una bolsa de residuos separada y átela firmemente.

ANEXO B: DATOS DE MUESTREO

Tabla B.1: Datos de campo, muestreo 1

Muestreo N°	Hora	Línea 1			Línea 2		
		pH	T(°C)	SS(mL/L)	pH	T(°C)	SS(mL/L)
1	10:00	8.66	30.00	0.10	8.70	30.00	0.01
2	11:00	8.84	30.10	0.50	8.79	30.10	0.10
3	12:00	9.03	31.00	0.10	8.57	31.00	0.15
4	13:00	8.94	30.80	0.20	8.62	30.80	0.15
5	14:00	9.00	31.10	1.60	8.94	31.10	0.10
6	15:00	9.01	31.60	0.90	9.01	31.60	0.30
7	16:00	8.99	30.90	0.80	8.98	30.90	0.30
8	17:00	8.90	30.10	0.50	8.88	30.10	0.10
Promedio		8.92	30.70	0.59	8.92	30.70	0.15

Tabla B.2: Datos de campo, muestreo 2

Muestreo N°	Hora	Línea 1			Línea 2		
		pH	T(°C)	SS(mL/L)	pH	T(°C)	SS(mL/L)
1	10:00	8.11	28.00	0.40	7.92	25.00	0.50
2	11:00	8.19	28.00	0.30	8.04	31.00	0.30
3	12:00	8.13	28.00	2.00	7.13	30.00	0.10
4	13:00	8.06	30.00	0.10	7.75	31.00	0.01
5	14:00	8.22	30.00	0.30	7.87	31.00	0.10
6	15:00	8.46	30.00	2.50	7.78	31.00	0.00
7	16:00	8.17	30.00	0.10	7.88	32.00	8.00
8	17:00	7.96	30.00	0.20	8.01	31.00	6.00
Promedio		8.16	29.25	0.74	7.80	30.25	1.88

Tabla B.3: Datos de campo, muestreo 3

Muestreo N°	Hora	Línea 1			Línea 2		
		pH	T(°C)	SS(mL/L)	pH	T(°C)	SS(mL/L)
1	10:00	7.98	29.00	2.30	8.06	30.00	0.05
2	11:00	8.08	29.00	0.40	7.95	30.00	0.20
3	12:00	8.08	29.00	0.40	7.96	30.00	0.60
4	13:00	8.00	30.00	4.80	7.69	31.00	0.80
5	14:00	7.89	29.50	3.20	7.73	30.00	0.10
6	15:00	7.63	30.00	0.20	7.72	30.00	0.30
7	16:00	7.73	30.00	0.01	7.76	30.10	0.18
8	17:00	8.90	30.00	0.10	7.84	30.10	0.03
Promedio		8.04	29.56	1.43	7.84	30.15	0.28

ANEXO C: MEMORIA DE CÁLCULO

C.1 Número de muestreos

Para poder caracterizar lo mejor posible un tipo de agua y poder obtener una muestra representativa con un margen de error muy bajo se tendría que realizar un número considerablemente alto de muestreos y análisis para lograr dicho objetivo.

Para demostrar matemáticamente el número de muestreos necesarios conforme al caso en estudio se empleó el diseño factorial 2^K donde K es el número de factores que influyen en la variable respuesta y el 2 representa el número de niveles que tendrán los valores de K, teniendo como variable respuesta la carga de contaminantes en las aguas residuales generadas. Para esto se analizaron 2 tipos de casos.

1° Caso

Se cree que el mayor factor que influye en la variabilidad de la carga de contaminantes en el hospital es el número de pacientes que se atienden a diario, por lo que en este primer caso se toma únicamente este factor como valor K y los niveles de este serán el número mínimo y máximo de pacientes que se pueden atender en el día siendo de 470 personas el número máximo. Pero debido a que el factor (Número de pacientes) no se puede regular, entonces se tomó el valor de 470 como el número de niveles, dando el siguiente resultado:

$$470^1 = 470 \text{ muestreos}$$

2° Caso

En el segundo caso se pueden tomar 2 factores como valores de K, siendo estos el número de pacientes y las épocas del año. En esta ocasión se asignaron valores de niveles más limitados y reducidos. Para los niveles del número de pacientes se tomaron el valor mínimo, promedio y máximo de estos siendo entonces de 3 niveles y para el factor "Épocas del año" se tomaron igualmente 3 niveles o 3 épocas del año más importantes, dando como resultado un número más bajo:

$$3^2 = 9 \text{ muestreos}$$

C.2 Cajón de entrada

Es indispensable construir a la entrada del sistema de tratamiento un cajón donde se pueda regular la velocidad del agua y que además sirva para la inspección de esta.

Se tiene el siguiente caudal para el diseño:

$$\begin{aligned} Q &= 6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 53 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

De los criterios de diseño tomamos una velocidad del agua en el rango de 1.1-1.51 m/s (García, 2017).

Tomamos entonces un valor medio de 1.1 m/s.

✓ Área

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

$$A = \frac{6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{1.1 \text{ m/s}} = 5.58 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

✓ Longitud y ancho

Suponiendo una longitud igual al ancho:

$$\begin{aligned} L &= a \\ A &= L * a \end{aligned}$$

Despejamos el ancho

$$\begin{aligned} A &= a * a \\ A &= a^2 \end{aligned}$$

$$a = \sqrt{5.58 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$a = 0.0236 \text{ m}$$

Debido a que nos resulta un ancho muy pequeño, tomamos el valor mínimo recomendado de 0.5 m.

Entonces:

$$a = 0.5 \text{ m}$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

✓ Tiempo de caída

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

Donde:

Y: es el fondo del pozo o caja que debe de estar 15 más bajo que el nivel de llegada del emisario (10 -15 cm)

g: gravedad

$$t = \sqrt{\frac{2(0.15 \text{ m})}{9.81 \text{ m/s}^2}}$$

$$t = 0.175 \text{ seg}$$

✓ Distancia a la que debe ir la pantalla

$$X = V * t$$

$$X = \left(1.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * (0.175 \text{ seg})$$

$$X = 0.2 \text{ m}$$

✓ Longitud de transición

$$L = \frac{b_{\text{cajón}} - b_{\text{canal}}}{2 * \tan\theta}$$

El ancho debe estar en un rango de 0.3 – 0.7 m, escogemos el valor mínimo de 0.5 m.

El ángulo de transición se toma como 12.5° para obtener unas pérdidas mínimas de carga.

$$L = \frac{0.5 \text{ m} - 0.3 \text{ m}}{2 * \tan (12.5^\circ)}$$

$$L = 0.45 \text{ m}$$

C.3 Canal de entrada

$$Q = 6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ = 53 \text{ m}^3/\text{d}$$

✓ Área del canal

Se elige una velocidad del agua mínima de 0.6 m/s.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0.6 \text{ m/s}} = 1.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

✓ Profundidad del agua

Calculamos primeramente el factor K.

$$K = \frac{Q * n}{b^{8/3} S^{1/2}}$$

Donde:

n: es el coeficiente de manning, lo tomamos como 0.013 para hormigón

S: es la pendiente, la cual será de 1.3% según el Manual de depuración Uralita

b: es el ancho del canal de entrada (m).

$$K = \frac{(6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) * (0.013)}{(0.3 \text{ m})^{8/3} (0.013)^{1/2}} = 1.7 \times 10^{-3}$$

La profundidad del agua será:

$$d = 1.66240 * K^{0.74232} b$$

$$d = 1.66240 * (1.7 \times 10^{-3})^{0.74232} (0.3 \text{ m})$$

$$d = 0.0045 \text{ m}$$

✓ Altura total

$$h_T = d + h + BL$$

Donde

h: es la altura por pérdidas ($S = h/L$)

d: es la profundidad del agua (m)

BL: es el borde libre (m)

$$h = S * L_{\text{Transición}}$$

$$h = 0.013 * 0.45 \text{ m}$$

$$h = 0.00585 \text{ m}$$

Tomando un borde libre de 0.25 m.

$$h_T = 0.0045 \text{ m} + 0.00585 \text{ m} + 0.25 \text{ m}$$

$$h_T = 0.26 \text{ m}$$

Tomamos como altura el valor mínimo de 0.5 m.

✓ Verificación de la velocidad

Ecuación de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$R = \frac{b * d}{b + 2d}$$

$$R = \frac{0.3 \text{ m} * 0.0045 \text{ m}}{0.3 \text{ m} + 2(0.0045 \text{ m})} = 0.00432 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{0.013} (0.00432 \text{ m})^{2/3} (0.013)^{1/2}$$

$$V = 0.2326 \text{ m/s}$$

- ✓ Verificación del Área

$$A = \frac{6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0.2326 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.00264 \text{ m}^2$$

C.4 Rejillas

$$Q = 6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 53 \text{ m}^3/\text{d}$$

- ✓ Número de barras

$$N = \frac{b + S}{a + S}$$

Donde:

a: es el ancho de las barras (mm), la tomamos como 10 mm

b: es ancho del canal (m), 0.3 m

S: es la separación entre barras (mm), la elegimos como 20 mm

$$N = \frac{0.30 \text{ m} + 0.02 \text{ m}}{0.01 \text{ m} + 0.02 \text{ m}} = 10.66 \approx 11 \text{ barras}$$

- ✓ Pérdidas de energía en la rejilla

$$H = \beta \left(\frac{a}{S} \right)^{4/3} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \text{sen} \alpha$$

Tabla C.1: Coeficientes para el tipo de rejas

Bar type	<i>B</i>
Sharp-edged rectangular	2.42
Rectangular with semicircular face	1.83
Circular	1.79
Rectangular with semicircular upstream and downstream faces	1.67
Tear shape	0.76

Fuente: Lin, 2007

- De la tabla para rejas rectangulares, el factor β es 2.42.
- Se adopta un ángulo del 60%.

$$H = (2.42) \left(\frac{10 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0.2326^2}{2 * 9.81} \right) \text{sen}(60^\circ)$$

$$H = 1.7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- ✓ Tirante de agua en la rejilla

$$y = \frac{0.00264 \text{ m}^2}{0.3 \text{ m}} = 0.0088 \text{ m}$$

- ✓ Altura de la rejilla

Tomando un borde libre de 0.25 m.

$$H_{\text{rej}} = y + BL$$

$$H_{\text{rej}} = 0.0088 \text{ m} + 0.25 \text{ m} = 0.26 \text{ m}$$

- ✓ Longitud de la rejilla

$$L_{\text{rej}} = \frac{H_{\text{rej}}}{\text{sen } \theta} = \frac{0.26 \text{ m}}{\text{sen}(60^\circ)} = 0.3 \text{ m}$$

- ✓ Volumen de agua diaria

$$V = Q * t$$

$$V = 6.135 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86,400 \frac{\text{seg}}{\text{d}} = 53 \text{ m}^3$$

- ✓ Volumen de material retenido

$$V_{\text{MR}} = \alpha * V$$

Tabla C.2: Cantidad de material retenido en rejillas

Abertura (mm)	Cantidad de Material Retenido, α (L/m³)
20	0.038
25	0.023
30	0.023
40	0.009

Fuente: García, 2017.

De la tabla para una abertura de 20 mm, el valor de alfa es 0.038 L/m³.

Entonces

$$V_{MR} = 0.038 \frac{L}{m^3} * 53 m^3$$

$$V_{MR} = 2 L$$

C.5 Sedimentador primario

$$Q = 6.135 \times 10^{-4} m^3/s \\ = 53 m^3/d$$

Para el diseño del decantador primario se hacen las siguientes consideraciones.

- Velocidad de carga superficial (Cs) = 30 m³/m²-d
- Profundidad del agua = 4 m
- Constante para el tipo de material arrastrado (k) = 0.05
- Diámetro de partícula (d) = 100 μ m
- Gravedad específica de la partícula (S) = 1.25
- Factor de fricción de Darcy-Weisbach (f) = 0.025

✓ Caudal individual

Solamente se tendrá un sedimentador

$$Q_i = \frac{53 m^3/d}{1} == 53 m^3/d$$

- ✓ Área

$$A = \frac{Q_i}{C_s} = \frac{53 \text{ m}^3/\text{d}}{30 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{d}} = 1.766 \text{ m}^2$$

- ✓ Longitud y ancho

$$A = L \times a$$

Tomamos una relación de longitud – ancho de 2:1

$$A = 2a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1.766 \text{ m}^2}{2}} = 0.94 \approx 1 \text{ m}$$

$$L = 2(1 \text{ m}) = 2 \text{ m}$$

- ✓ Volumen individual

Definimos una altura del tanque de 2 m

$$V = (1 \text{ m})(2 \text{ m})(2 \text{ m}) = 4 \text{ m}^3$$

- ✓ Tiempo de retención

$$t_R = \frac{4 \text{ m}^3}{53 \text{ m}^3/\text{d}} = 0.0755 \text{ d}$$

$$t_R = 0.0755 \text{ d} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} = 1.8 \approx 2 \text{ horas}$$

- ✓ Velocidad horizontal

$$V_H = \frac{Q}{a * h} = \frac{53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}}{1 \text{ m} * 2 \text{ m}} = 1.1 \text{ m/h} \approx 3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

- ✓ Velocidad de arrastre

$$V_H = \left(\frac{8 * K(S - 1)g * d}{f} \right)^{1/2}$$

$$V_H = \left(\frac{8 * 0.05(1.25 - 1)9.81 * 100 \times 10^{-6}}{0.025} \right)^{1/2}$$

$$V_H = 0.063 \text{ m/s}$$

- ✓ Longitud del vertedero

$$L_V = \frac{Q}{C_{hv}}$$

La carga hidráulica en el vertedero se considera como 250 m³/m²-d (García, 2017).

$$L_V = \frac{53 \text{ m}^3/\text{d}}{250 \text{ m}^3/\text{m} - \text{d}}$$

$$L_V = 0.2 \text{ m}$$

- ✓ Volumen de almacenamiento y digestión

$$V_d = \frac{(SS * Q * FCR)}{\rho_{H_2O}}$$

Donde SS es la gravedad específica de los sólidos, la cual se considera 80 g/m³.

Tabla C.3: Factor de capacidad relativa

Temperatura (° C)	Factor de Capacidad Relativa (FCR)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
> 25	0,5

Fuente: García, 2017

El factor de capacidad relativa se determina a 20°C, el cual tiene un valor de 0.7.

$$V_d = \frac{(80 \text{ g/m}^3 * 53 \text{ m}^3/\text{d} * 0.7)}{1000 \text{ kg/m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$V_d = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{d}$$

✓ Remociones

El tiempo de retención fue de 2 horas

Tabla C.4: Parámetros de remoción en la sedimentación primaria

Parámetro	a	b
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

Fuente: García, 2017.

DBO₅

Los parámetros de remoción de DBO son

$$a = 0.018$$

$$b = 0.020$$

La remoción se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

$$R = \frac{2 \text{ h}}{0.018 + (0.020 * 2.5\text{h})} = 34.5\%$$

SST

Los parámetros de remoción de Sólidos suspendidos son:

$$a = 0,0075$$

$$b = 0,014$$

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

$$R = \frac{2 \text{ h}}{0,0075 + (0,014 * 2.5\text{h})} = 56.3\%$$

C.6 Sistema de lodos activados

$$Q = 6.135 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ = 53 \text{ m}^3/\text{d}$$

Las concentraciones del afluente a la entrada son:

$$\text{DBO}_5 = 168 \text{ mg/L} \\ \text{SST} = 142 \text{ mg/L}$$

1. Determinación de las cargas

$$[\text{DBO}_5] = \left(6.135 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * \left(168 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ d}}$$

$$[\text{DBO}_5] = 8.9 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}}$$

$$[\text{SST}] = \left(6.135 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * \left(142 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ d}}$$

$$[\text{SST}] = 7.53 \frac{\text{kg SST}}{\text{d}}$$

2. Características de los lodos primarios

En la sedimentación primaria se obtuvieron remociones de DBO_5 y SST del 34% y 56% respectivamente.

$$\text{Lodos DBO} = 8.9 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} * 0.34 = 3.026 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}}$$

$$\text{Lodos SST} = 7.53 \frac{\text{kg SST}}{\text{d}} * 0.56 = 4.22 \frac{\text{kg SST}}{\text{d}}$$

Tomando la gravedad específica de los sólidos como 1.05 y una concentración de sólidos en el agua de 4.4%, calculamos el caudal de lodos diarios.

$$Q_{\text{lodos}} = \frac{3.026 + 4.22}{1.05 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.044} = 0.157 \text{ m}^3/\text{d}$$

3. Cálculo del caudal, DBO y SST del sedimentador primario (entrada al tratamiento secundario).

- Caudal de salida

$$Q_{\text{lodos}} = 0.157 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{Salida}} = 53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 0.157 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{Salida}} = 52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

- DBO₅ de salida

$$\text{DBO}_{\text{Salida}} = \text{DBO}_{\text{Entrada}} - \text{DBO}_{\text{Removida}}$$

$$\text{DBO}_{\text{Salida}} = 8.9 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} - 3.026 \frac{\text{kg DBO}}{\text{d}} = 5.87 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{DBO}_{\text{Salida}} = \frac{5.87 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 1 \times 10^6 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}} = 111.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = S_0$$

- SST de salida

$$\text{SST}_{\text{Salida}} = \text{SST}_{\text{Entrada}} - \text{SST}_{\text{Removido}}$$

$$SST_{\text{Salida}} = 7.53 \frac{\text{kg SST}}{\text{d}} - 4.22 \frac{\text{kg SST}}{\text{d}} = 3.31 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$SST_{\text{Salida}} = \frac{3.31 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 1 \times 10^6 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}} = 62.64 \text{ mg/L}$$

4. La DBO₅ soluble que escapa del tratamiento, S.

Se asume que el efluente

$$DBO_{\text{efluente}} = DBO_{\text{afluente que escapa (S)}} + DBO_{\text{ss del efluente del tratamiento}}$$

a) DBO de sólidos suspendidos del efluente

Se estima que el efluente deberá contener una concentración igual o menor a 24 mg/L de sólidos biológicos de los cuales el 65% son biodegradables, entonces:

$$\text{Sólidos biodegradables en el efluente} = 24 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.65 = 15.6 \text{ mg/L}$$

$$DBOU = 15.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1.42 \frac{\text{mg O}_2}{\text{mg Células}} = 22.15 \text{ mg/L}$$

La DBO_{ss del efluente} será el 67% de la DOBU.

$$DBO_{\text{ss del efluente}} = 0.67 * 22.15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 14.84 \text{ mg/L}$$

b) La DBO soluble del afluyente que escapa al tratamiento.

$$DBO_{\text{efluente}} = S + DBO_{\text{ss del efluente}}$$

La DBO₅ del efluente deberá ser menor o igual a 20 mg/L

$$S = 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 14.84 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$S = 5.16 \text{ mg/L}$$

5. La eficiencia del tratamiento

a) La eficiencia basada en la DBO_5 .

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) * 100$$

$$E = \left(\frac{111.1 \text{ mg/L} - 5.16 \text{ mg/L}}{111.1 \text{ mg/L}} \right) * 100 =$$
$$E = 95.35\%$$

b) La eficiencia conjunta del proceso biológico.

$$E = \left(\frac{168 \text{ mg/L} - 20 \text{ mg/L}}{168 \text{ mg/L}} \right) * 100 =$$
$$E = 88.1\%$$

6. Volumen del reactor

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_0 - S)}{X(1 + k_d \theta_c)}$$

Donde:

Q: es el caudal de entrada (m^3/d)

θ_c : es el tiempo de residencia de sólidos en el tanque (d)

Y: es el coeficiente de rendimiento máximo (mg/mg)

X: es la concentración de microorganismos en el tanque (mg/L)

k_d : es el coeficiente de degradación endógena

Para los cuales se consideran los siguientes valores:

θ_c : 10 d

Y: 0.5 mg SSV/mg DBO_5

X: 2400 mg/L

k_d : 0.06 d^{-1}

Entonces el volumen del tanque será:

$$V = \frac{(10 \text{ d}) \left(52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{86,400 \text{ s}}{1 \text{ d}} \right) \left(0.5 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}} \right) \left(111.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 5.16 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\left(2400 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) [1 + (0.06 \text{ d}^{-1})(10 \text{ d})]}$$

$$V = 7.3 \text{ m}^3$$

7. Dimensiones del tanque de aireación

Debido al valor del volumen del reactor se considera solamente 1 tanque, este será rectangular con una relación ancho-largo de 1:2 y una altura promedio de 1.5 m con un borde libre de 0.5 m.

El volumen individual de los tanques es:

$$V_i = \frac{7.3 \text{ m}^3}{1} = 7.3 \text{ m}^3$$

El área del tanque será:

$$A = \frac{7.3 \text{ m}^3}{1.5 \text{ m}} = 4.87 \text{ m}^2$$

De la ecuación

$$A = L * a$$

De donde

$$L = 2a$$

Entonces el ancho de cada tanque será:

$$A = 2a * a$$

$$A = 2a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{4.87 \text{ m}^2}{2}} = 1.56 \text{ m}$$

De la relación planteada calculamos la longitud del tanque:

$$L = 2 * (1.56 \text{ m})$$

$$L = 3.12 \text{ m}$$

Finalmente se obtiene la altura total de los valores establecidos:

$$H_T = 1.5 + 0.5 = 2 \text{ m}$$

8. Caudal de lodos en el tanque de aireación.

De la ecuación siguiente, despejamos el Q_{wa} , el cual será la cantidad de lodos a purgar en el reactor.

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_{wa}X + Q_eX_e}$$

Para esto se considera de igual forma una concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezclado (MLVSS) de 2400 mg/L.

Se supone una relación de $SSV/SST = 0.8$ para una concentración de sólidos biológicos en el efluente de 24 mg/L.

El tiempo de residencia será de 10 días.

Se asume que $Q_e = Q$.

$$Q_e = 52.84 \text{ m}^3/\text{d}$$

De la ecuación original, despejamos Q_{wa}

$$Q_{wa} = \frac{\frac{VX}{\theta_c} - Q_eX_e}{X}$$

el caudal de lodos desechados desde el reactor será:

$$Q_{wa} = \frac{\frac{(7.3 \text{ m}^3)(2400 \text{ mg/L})}{10 \text{ d}} - (52.84 \text{ m}^3/\text{d}) \left(24 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.8\right)}{2400 \text{ mg/L}}$$

$$Q_{wa} = 0.31 \text{ m}^3/\text{d}$$

9. Cantidad de lodo producido por día.

a) Cálculo del Y_{obs}

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_C}$$

$$Y_{obs} = \frac{0.5 \frac{\text{mg SSV}}{\text{mg DBO}_5}}{[1 + (0.06 \text{ d}^{-1})(10 \text{ d})]}$$

$$Y_{obs} = 0.3125 \text{ mg SSV/mg DBO}_5$$

b) Masa de lodos activados volátiles desechados (MLVSS).

$$P_X = Y_{obs} Q(S_0 - S)$$

$$P_X = 0.3125 * 52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \left(111.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 5.16 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

$$P_X = 1.75 \text{ kg/d}$$

c) Incremento en la MLSS (SST).

$$P_{X,SST} = \frac{1.75 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0.8} = 2.187 \text{ kg/d}$$

d) Sólidos suspendidos perdidos en el efluente

$$P_e = \left(52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 0.31 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) * 24 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$P_e = 1.26 \text{ kg/d}$$

e) Cantidad de lodo total desechado

$$\text{Lodos} = P_{X,SST} - P_e$$

$$\text{Lodos} = 2.187 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 1.26 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Lodos} = 0.927 \text{ kg/d}$$

10. Relación de recirculación de lodos activados

Para esto tenemos los siguientes datos establecidos anteriormente.

SSV en el aireador = 2400 mg/L

$$\text{SSV en la línea de retorno} = 9300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.8 = 7440 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

La relación de recirculación se estima mediante un balance de masa en el reactor:

$$2400(Q + Q_r) = 7440Q_r$$

Despejando

$$Q + Q_r = \frac{7440}{2400} * Q_r$$

$$Q + Q_r = 3.1 * Q_r$$

$$Q = 3.1 * Q_r - Q_r$$

$$Q = 2.1Q_r$$

$$\frac{Q_r}{Q} = \frac{1}{2.1}$$

$$\frac{Q_r}{Q} = \alpha = 0.476$$

Por ende, podemos calcular el caudal de retorno:

$$Q_r = 0.476 * 52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_r = 25.15 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_r = 0.00029 \text{ m}^3/\text{s}$$

11. Tiempo de retención hidráulica del reactor

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

$$\theta = \frac{7.3 \text{ m}^3}{52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 0.138 \text{ d} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}}$$

$$\theta = 3.3 \text{ horas}$$

El rango recomendado de HRT es de 5 – 15 horas.

12. Comprobación de la relación F/M usando el valor de U

U : tasa de utilización de sustrato.

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X}$$

$$U = \frac{111.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 5.16 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0.138 \text{ d} * 2,400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$$U = 0.32 \text{ d}^{-1}$$

13. Verificar los valores de la carga orgánica y DBO Ultima

$$\text{Carga volumétrica} = \frac{Q * S_0}{V}$$

Recordando que las unidades de mg/L son equivalentes a g/m³

$$\text{Carga volumétrica} = \frac{52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 111.1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}}{7.3 \text{ m}^3}$$

$$\text{Carga volumétrica} = 0.8 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 - \text{d}$$

Ahora calculamos la DBOU del afluyente del afluyente que se convierte en el proceso, suponiendo de igual forma la relación del 67%.

$$DBO_5 = 0.67 * DBOU$$

De donde despejamos y planteamos la relación siguiente:

$$DBOU = \frac{Q(S_0 - S)}{0.67}$$

$$DBOU = \frac{52.84 \frac{m^3}{d} \left(111.1 \frac{g}{m^3} - 5.16 \frac{g}{m^3} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}}{0.67}$$

$$DBOU = 8.35 \text{ kg/d}$$

14. Requisitos de oxígeno teórico

$$O_2 = DBOU - 1.42 * P_x$$

$$O_2 = 8.35 \frac{kg}{d} - \left(1.42 * 1.75 \frac{kg}{d} \right)$$

$$O_2 = 5.87 \text{ kg/d}$$

15. Cálculo del volumen de aire necesario

Para calcular los requerimientos de aire se asume que la eficiencia en la transferencia de oxígeno de los equipos de aireación es del 8%. Para el dimensionamiento de los soplantes, se puede adoptar un factor de seguridad de 2.

a) Cantidad teórica de aire necesario

Suponiendo que el aire tiene un contenido de oxígeno del 23.2% y que la densidad del aire es de 1.202 kg/m³.

$$\text{Aire} = \frac{5.87 \frac{kg}{d}}{1.202 \frac{kg}{m^3} * 0.232 \frac{g O_2}{g \text{ Aire}}} = 21.05 \text{ m}^3/\text{d}$$

b) Aire requerido en la realidad

Suponiendo el 8% de eficiencia en la transferencia de oxígeno.

$$\text{Aire real} = \frac{21.05 \text{ m}^3/\text{d}}{0.08} = 263.13 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$\text{Aire real} = 0.183 \text{ m}^3/\text{min}$$

c) Demanda de aire del proyecto

Se toma un factor de seguridad de 2.

$$\text{Aire} = 0.183 \text{ m}^3/\text{min} * 2$$

$$\text{Aire} = 0.366 \text{ m}^3/\text{min}$$

16. Comprobar los volúmenes de aire requeridos

a) Aire necesario por kg de DBO_5 removida

$$\text{Aire} = \frac{263.13 \text{ m}^3/\text{d}}{52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \left(111.1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 5.16 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}}$$

$$\text{Aire} = 47 \text{ m}^3 \text{ de aire/ kg de } \text{DBO}_5$$

b) Aire necesario por m^3 de agua tratada

$$\text{Aire} = \frac{263.13 \text{ m}^3/\text{d}}{52.84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$\text{Aire} = 4.98 \frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{m}^3 \text{ de agua residual}}$$

c) Aire necesario por volumen de tanque de aireación

$$\text{Aire} = \frac{263.13 \text{ m}^3/\text{d}}{7.3 \text{ m}^3} = 36.05 \text{ m}^3/\text{m}^3 - \text{d}$$

17. Estimar la potencia requerida del soplador (Blower)

$$P_w = \frac{wRT_1}{8.41e} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

Donde:

P_w = Potencia necesaria para el soplador, kW

W = Caudal de aire en peso, kg/s

R = Constante universal de gases = 8.314 kJ/Kmol*K

T_1 = Temperatura absoluta a la entrada, K

P_1 = Presión absoluta a la entrada, atm

P_2 = Presión absoluta a la salida, atm

$n = 0.283$ (Para aire)

e = eficiencia (En compresores normalmente es de 0.7 – 0.9)

a) Peso del flujo de aire

$$\text{Oxígeno necesario} = 5.87 \text{ kg/d}$$

La eficiencia del sistema de aireación es del 8% (Paso 15).

$$\text{Oxígeno requerido} = \frac{(5.87 \text{ kg/d})}{0.08} = 73.375 \text{ kg/d}$$

En el aire hay 23.2% de oxígeno. Entonces el peso del flujo de aire será:

$$W_{\text{aire}} = \frac{73.375 \text{ kg/d}}{0.232} = 316.27 \text{ kg/d}$$

Tomando el factor de seguridad de 2.

$$W_{\text{aire}} = (316.27 \text{ kg/d}) * 2$$

$$W_{\text{aire}} = \left(632.54 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$W_{\text{aire}} = 0.00732 \text{ kg/s}$$

b) Determinar la potencia requerida para el soplador P_w .

Se asume que la temperatura de entrada es de 30 °C.

$$T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$$

Se considera una presión de entrada $P_1 = 1 \text{ atm}$ y la presión de descarga puede tomarse como 0.54 atm.

$$P_2 = 1 \text{ atm} + 0.54 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1.54 \text{ atm}$$

Se considera la eficiencia del Blower de 80%.

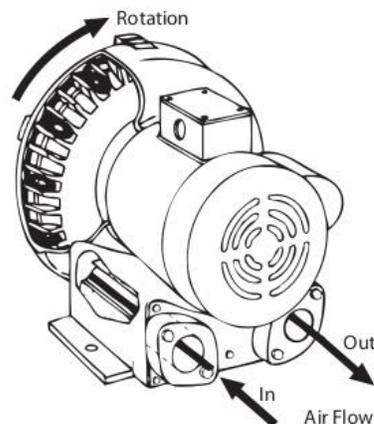
Entonces la potencia requerida por el soplador será:

$$P_w = \frac{wRT_1}{8.41e} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$P_w = \frac{(0.00732 \text{ kg/s})(8.314 \text{ kJ/Kmol} \cdot \text{K})(303 \text{ K})}{8.41(0.8)} \left[\left(\frac{1.54 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$P_w = 0.36 \text{ kW}$$

Debido a que la potencia requerida por el Blower es poca, el equipo más pequeño podrá sustentar las necesidades de aireación perfectamente.



Soplador típico para un sistema de aireación.

C.7 Sedimentador secundario

Para el diseño del clarificador secundario se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = \frac{QX}{SF}$$

Donde:

A: es el área del clarificador

X: concentración de sólidos en el licor de mezclado (MLSS)

SF: factor limitante del flujo de sólidos

Q: caudal del clarificador secundario

- El factor limitante del flujo de sólidos SF

Teniendo una concentración de MLSS en los lodos activados $P_{ss} = 2.187 \text{ kg/d}$ y un área del tanque de aireación de 4.87 m^2 , el factor SF será:

$$SF = \frac{2.187 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}}{4.87 \text{ m}^2}$$

$$SF = 0.0187 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

- Caudal de diseño de los sedimentadores

$Q = \text{Caudal promedio, } Q_m + \text{Caudal de retorno, } Q_r - \text{MLSS desechada}$

Donde

$$Q_r = 0.476 * Q_m$$

$$Q_r = 0.476(52.84 \text{ m}^3/\text{d})$$

$$Q_r = 25.15 \text{ m}^3/\text{d}$$

La MLSS desechada = $Q_{wa} = 0.31 \text{ m}^3/\text{d}$ calculado anteriormente.

Entonces el caudal de los clarificadores será:

$$Q = 52.84 \text{ m}^3/\text{d} + 25.15 \text{ m}^3/\text{d} - 0.31 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q = 77.68 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Área y diámetro del clarificador

$$A = \frac{QX}{SF}$$

Donde X es:

$$X = \frac{2.187 \text{ kg/d}}{52.84 \text{ m}^3/\text{d}} = 0.0414 \text{ kg/m}^3$$

Entonces el área será:

$$A = \frac{(77.68 \text{ m}^3/\text{d})(0.0414 \text{ kg/m}^3)}{0.0187 \text{ kg/m}^2\text{h}}$$

$$A = 7.2 \text{ m}^2$$

De la ecuación del área despejamos el diámetro

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(7.2 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 3 \text{ m}$$

- Velocidad de sobreflujo

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

$$V_s = \frac{77.68 \text{ m}^3/\text{d}}{7.2 \text{ m}^2}$$

$$V_s = 10.8 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{d}$$

Según los criterios la velocidad de sobreflujo no debe exceder los $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{d}$, por lo que el valor obtenido es aceptable.

- Comprobar el área del clarificador para los requerimientos de clarificación

Debido a que consideramos una concentración de sólidos de diseño MLVSS de 2400 mg/L que corresponden a la relación $\text{SSV}/\text{SST}=0.8$ para una concentración máxima de sedimentación MLSS de 3000 mg/L , se puede decir que la velocidad es satisfactoria para este valor considerado.

- Razón de recirculación requerida para mantener la concentración de MLSS de 3000 mg/L .

Del balance en el sedimentador tenemos:

$$(Q + Q_r)\text{MLSS} = QX + Q_rX_u$$

Despejando

$$\begin{aligned} Q_r * \text{MLSS} - Q_r * X_u &= Q * X - Q * \text{MLSS} \\ \frac{Q_r}{Q} &= \frac{\text{MLSS} - X}{X_u - \text{MLSS}} \end{aligned}$$

Donde

$$X = 62.64 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ (Cálculos de lodos activados, paso 3)}$$

$$X_u = 9300 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{MLSS} = \frac{2400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0.8} = 3000 \text{ mg/L}$$

Entonces la relación de recirculación es:

$$\frac{Q_r}{Q} = \frac{3000 \text{ mg/L} - 62.64 \text{ mg/L}}{9300 \text{ mg/L} - 3000 \text{ mg/L}}$$

$$\frac{Q_r}{Q} = \alpha = 0.47$$

- Estimar la profundidad requerida para la zona de espesamiento

La altura total del clarificador secundario es la suma de las profundidades requeridas de la zona de agua clara, la zona de espesamiento de sólidos, la zona de almacenamiento de lodos y un borde libre.

- a) Masa de sólidos en el tanque de aireación:

$$m_i = \text{MLSS} * L * a * h$$

$$m_i = \left(3000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 3.12 \text{ m} * 1.56 \text{ m} * 2 \text{ m} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$m_i = 29.2 \text{ kg}$$

- b) Masa de sólidos en el clarificador para 2 días

Considerando que la masa de sólidos retenidos en el clarificador secundario es del 30%:

$$m_{2 \text{ días}} = 0.3 * 29.2 \text{ kg} * 2$$

$$m_{2 \text{ días}} = 17.52 \text{ kg}$$

- c) Profundidad de la zona de espesamiento

$$H_{\text{EL}} = \frac{m_{2 \text{ días}}}{A * C}$$

Tomando en cuenta que la máxima concentración que se puede tener en la zona de espesamiento es de 7000 mg/L.

$$H_{\text{EL}} = \frac{17.52 \text{ kg}}{7.2 \text{ m}^2 * 7000 \text{ g/m}^3} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$H_{\text{EL}} = 0.35 \text{ m}$$

- Estimar la profundidad para la zona de almacenamiento

Esta zona se proporciona para almacenar el exceso de sólidos en condiciones de flujo máximo o en un periodo durante el cual las instalaciones de procesamiento de lodos no pueden manejar la cantidad de lodos. Se asume que el caudal pico de 2 días es 2.5 veces el caudal promedio y que la carga pico de DBO en 7 días es de 1.5 veces la DBO promedio.

a) Sólidos volátiles generados por la DBO pico

$$Y_{\text{obs}} = 0.3125$$

(del paso 9a de lodos activados)

$$Q = 2.5(53 \text{ m}^3/\text{d}) = 132.5 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$S_0 = 1.5(111.1 \text{ mg/L}) = 166.65 \text{ mg/L}$$

$$S = 1.5(5.16 \text{ mg/L})$$

$$S = 7.74 \text{ mg/L}$$

$$P_X = Y_{\text{obs}}Q(S_0 - S)$$

$$P_X = (0.3125)(132.5 \text{ m}^3/\text{d}) \left(166.65 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 7.74 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$P_X = 6.6 \text{ kg/d}$$

b) Masa de sólidos para 2 días de almacenamiento

Los sólidos serán el 80% de los sólidos volátiles debido a la relación SSV/SST = 0.8.

$$m_{2 \text{ días}} = \frac{(6.6 \text{ kg/d})(2\text{d})}{0.8}$$

$$m_{2 \text{ días}} = 16.5 \text{ kg}$$

c) Masa de sólidos totales en el clarificador secundario

$$m_T = 16.5 \text{ kg} + 17.52 \text{ kg}$$

$$m_T = 34.02 \text{ kg}$$

d) Altura de la zona de almacenamiento de lodos

$$H_{AL} = \frac{m}{A * C}$$

$$H_{AL} = \frac{34.02 \text{ kg}}{7.2 \text{ m}^2 * 7000 \text{ g/m}^3} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$H_{AL} = 0.68 \text{ m}$$

- Altura total del clarificador secundario

$$H_T = H_{AC} + H_{EL} + H_{AL} + H_{BL}$$

Donde:

H_{AC} altura de agua clara (0.5 – 2 m)

H_{EL} altura de la zona de espesamiento de lodos

H_{AL} altura de la zona de almacenamiento de lodos

H_{BL} borde libre (0.2 m – 1 m)

Tomando una altura de agua clara de 1.5 m y un borde libre de 0.3 m

Entonces la altura del clarificador será:

$$H_T = 0.6 \text{ m} + 0.35 \text{ m} + 0.68 \text{ m} + 0.2 \text{ m}$$

$$H_T = 1.83 \text{ m}$$

- Verificar el tiempo de retención hidráulica del clarificador

El volumen del sedimentador será:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

Con un diámetro igual a 3 m y una altura total de 1.83 m, el volumen es:

$$V = \frac{\pi}{4} (3 \text{ m})^2 * 1.83 \text{ m}$$

$$V = 12.93 \text{ m}^3$$

a) Tiempo de retención con recirculación de lodos

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

$$\text{HRT} = \frac{(12.93 \text{ m}^3) * 24 \text{ h/d}}{77.68 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$\text{HRT} = 4 \text{ horas}$$

b) Tiempo de retención sin recirculación de lodos

Donde el caudal sin recirculación es:

$$Q = 52.84 \text{ m}^3/\text{d} - 0.31 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q = 52.53 \text{ m}^3/\text{d}$$

Entonces el tiempo de retención será:

$$\text{HRT} = \frac{(12.93 \text{ m}^3) * 24 \text{ h/d}}{52.53 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$\text{HRT} = 5.9 \text{ horas}$$

C.8 Desinfección

El cloro se aplicará diariamente a través de una solución de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 65%. Se considerará un tiempo de envío del proveedor a la planta de 2 días como máximo y se requerirá un mínimo de 10 días para la reserva. Se asume una tasa de decaimiento del 0.03% por día.

1. Requerimiento diario de cloro

Según la Tabla C.5 para un efluente proveniente de un tratamiento con lodos activados, se requiere una dosis promedio de 8 mg/L según la normativa GLUMRB.

Tabla C.5: Dosis de cloro recomendada según el tipo de tratamiento

Type of treatment	Illinois EPA dosage, mg/L	GLUMRB dosage, mg/L
Primary settled effluent	20	
Lagoon effluent (unfiltered)	20	
Lagoon effluent (filtered)	10	
Trickling filter plant effluent	10	10
Activated sludge plant effluent	6	8
Activated sludge plant with chemical addition	4	
Nitrified effluent		6
Filtered effluent following mechanical biological treatment	4	6

Fuente: Lin, 2007

Entonces la cantidad de cloro necesario para un caudal de $53 \text{ m}^3/\text{d}$ es:

$$\text{Cloro} = (53 \text{ m}^3/\text{d})(8 \text{ g/m}^3) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Cloro} = 0.424 \text{ kg/d}$$

2. Volumen diario de solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

Sabiendo que el hipoclorito se comercializa con un grado de pureza del 65%.

$$65\% = 650 \text{ g/m}^3 = 650 \text{ kg/m}^3$$

El volumen requerido será:

$$V_{\text{Ca}(\text{ClO})_2} = \frac{0.424 \text{ kg/d}}{650 \text{ kg/m}^3}$$
$$V_{\text{Ca}(\text{ClO})_2} = 6.52 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{d}$$

3. Volumen del tanque de almacenamiento para la solución de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

$$V = (6.52 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{d})(2 \text{ d} + 10 \text{ d})$$
$$V = 7.82 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

4. Volumen del tanque con la corrección de descomposición del $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

$$\text{Factor de corrección} = (0.03 \text{ \%/dia})(2 \text{ d} + 10 \text{ d})$$

$$\text{Factor de corrección} = 0.36 \text{ \%}$$

$$\text{Volumen requerido} = \frac{(7.824 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(65 \text{ \%})}{65 \text{ \%} - 0.36 \text{ \%}}$$

$$\text{Volumen requerido} = 7.87 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

5. Dimensiones del tanque

Del volumen de un cilindro

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

Despejando el diámetro

$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * H}}$$

Elegimos una altura del tanque de tan solo 0.5 m, el diámetro será entonces:

$$D = \sqrt{\frac{4(8 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{3.1416 * 0.5 \text{ m}}} \approx 0.15 \text{ m}$$

C.9 Lodos producidos

Del proceso de lodos activados tenemos los siguientes datos:

$$Q = 53 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{SST en el afluente primario} = 142 \text{ mg/L}$$

$$\text{DBO en el afluente primario} = 168 \text{ mg/L}$$

$$\text{SST en el efluente secundario} = 24 \text{ mg/L}$$

$$\text{DBO en el efluente secundario} = 20 \text{ mg/L}$$

De la sedimentación primaria se obtuvieron remociones del 34% y 56% para la DBO y los SST respectivamente. Se supone un 6% y un 1.2% de sólidos en los efluentes primarios y secundarios respectivamente. Tomamos un valor de $Y = 0.23 \text{ kg}$ de lodos secos/kg de DBO removida.

Paso 1) Cantidad de sólidos primarios secos producidos diariamente

$$\text{Lodos primarios} = Q * \text{SST} * \text{Remoción}$$

$$\text{Lodos primarios} = \left(53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) * \left(142 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) * 0.56 \% * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Lodos primarios} = 4.2 \text{ kg/d}$$

Paso 2) Concentraciones de SST y DBO en el efluente primario

Con 56% de remoción para SST y 34% para DBO en el sedimentador primario.

$$\text{SST} = 142 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (1 - 0.56) = 62.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{SST} = 168 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (1 - 0.34) = 110.88 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Paso 3) SST removidos en el clarificador secundario

$$\text{SST} = 62.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 24 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 38.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Lodos de SST} = \left(38.5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) \left(53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Lodos de SST} = 2.04 \text{ kg/d}$$

Paso 4) Sólidos biológicos producidos debido a la remoción de DBO

$$\text{DBO}_{\text{removidos}} = 110.88 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 91 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Lodos de DBO} = \left(91 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) \left(53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Lodos de DBO} = 4.82 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 0.23 \frac{\text{kg de lodos secos}}{\text{kg de DBO removida}}$$

$$\text{Lodos de DBO} = 1.1 \text{ kg/d}$$

Paso 5) Cantidad total de sólidos producidos en el clarificador secundario y en toda la planta

$$\text{Lodos secundarios} = 2.04 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 1.1 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Lodos secundarios} = 3.14 \text{ kg/d}$$

Lodos totales en la planta = Lodos primarios + Lodos secundarios

$$\text{Lodos totales} = 4.2 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 3.14 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Lodos totales} = 7.34 \text{ kg/d}$$

Paso 6) Volumen de cada lodo producido (Tomamos una densidad del agua de $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

$$V_{L \text{ Primarios}} = \frac{\text{Lodos primarios}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} * \% \text{ Sólidos}}$$

$$V_{L \text{ Primarios}} = \frac{4.2 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{\left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 0.06}$$

$$V_{L \text{ Primarios}} = 0.07 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_{L \text{ Secundarios}} = \frac{\text{Lodos secundarios}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} * \% \text{ Sólidos}}$$

$$V_{L \text{ Secundarios}} = \frac{3.14 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.012}$$

$$V_{L \text{ Secundarios}} = 0.26 \text{ m}^3/\text{d}$$

C.10 Espesador por gravedad

Se asume que el lodo es espesado de un 4% a 7% en contenido de sólidos.

La producción de lodos calculada anteriormente será:

$$V_{L \text{ Primarios}} = 0.07 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_{L \text{ Secundarios}} = 0.26 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V_{L \text{ Totales}} = 0.07 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 0.26 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$V_{L \text{ Totales}} = 0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Paso 1) Calcular la cantidad de lodo producido

Calculados anteriormente se tenía un total de lodos producidos de 7.34 kg/d.

Paso 2) Calcular el volumen en 7% de contenido de sólidos

$$V = \frac{\text{Lodos secos}}{\% \text{ Sólidos} * \rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$V = \frac{7.34 \text{ kg/d}}{0.07 * 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0.105 \text{ m}^3/\text{d}$$

Paso 3) Calcular el porcentaje de reducción de volumen de lodos

$$\text{Reducción} = \frac{(0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 0.105 \frac{\text{m}^3}{\text{d}})}{0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} * 100\%$$

$$\text{Reducción} = 68.18 \%$$

Paso 4) Área y diámetro del espesador

El área será:

$$A = \frac{\text{Lodos producidos}}{\text{Carga superficial de sólidos}}$$

De rojas (2004) tomamos una carga media para lodos primarios y lodos secundarios de 30 kg/m²-d.

$$A = \frac{7.34 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 - \text{d}}}$$

$$A = 0.24 \text{ m}^2$$

De la formula del Área despejamos el diámetro.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

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

$$D = \sqrt{\frac{4(0.24 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 0.55 \text{ m}$$

Para un mejor diseño tomamos un diámetro de 2 metros.

Paso 5) Con una densidad del lodo de 1000 kg/m^3 , la carga superficial será:

$$C_s = \frac{\text{Lodos producidos}}{(\% \text{ Sólidos})(\rho_{\text{H}_2\text{O}})A}$$

Tomamos una concentración del lodo de 4%.

$$C_s = \frac{7.34 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{(0.04) \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.24 \text{ m}^2)}$$

$$C_s = 0.76 \text{ m/d}$$

Paso 6) Para una profundidad del agua de 1.5 m, el volumen del espesador es:

$$V = (0.24 \text{ m}^2)(1.5 \text{ m}) = 0.36 \text{ m}^3$$

Paso 7) El tiempo de retención será:

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

$$\theta = \frac{0.36 \text{ m}^3}{0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 1.09 \text{ d}$$

$$\theta = 26 \text{ horas}$$

Los espesadores por gravedad tienen generalmente forma circular, con profundidades de 2 a 5 m y diámetro de 3 a 30 metros y un tiempo de detención de más de 18 horas.

C.11 Digestor anaerobio

Se diseña un digestor anaerobio de mezcla completa para estabilizar los lodos primarios y secundarios.

Consideramos los siguientes datos:

Caudal de lodos = $0.33 \text{ m}^3/\text{d}$

Tiempo de retención $\theta_c = 15$ días

Temperatura = $35 \text{ }^\circ\text{C}$

$Y = 0.05 \text{ kg SSV/kg DBO}$

Constante $k_d = 0.04 \text{ d}^{-1}$

Eficiencia del digestor = 60%

Paso 1) Volumen de lodos

Calculado anteriormente tenemos un volumen de lodos de $0.33 \text{ m}^3/\text{d}$.

Paso 2) Carga de DBOU

$$\text{DBO} = \text{Lodos primarios} + \text{Lodos secundarios}$$

Con una remoción del 34% los lodos primarios serán:

$$\text{Lodos primarios DBO} = \left(53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \left(168 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right) (0.34) * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Lodos primarios DBO} = 3.03 \text{ kg/d}$$

$$\text{Lodos secundarios DBO} = 1.1 \text{ kg/d (Anexo C.8)}$$

$$\text{DBO} = 3.03 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 1.1 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 4.13 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Entonces la DBOU será:

$$\text{DBO} = 0.67 * \text{DBOU}$$

$$\text{DBOU} = \text{DBO}/0.67$$

$$\text{DBOU} = \frac{4.13 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{0.67}$$

$$\text{DBOU} = 6.16 \text{ kg/d}$$

Paso 3) Volumen y diámetro del reactor

$$V = Q * \theta_c$$

$$V = \left(0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) * 10 \text{ días}$$

$$V = 3.3 \text{ m}^3$$

Tomamos una altura de 2 m. De la ecuación del volumen despejamos el diámetro.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 * H$$

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(3.3 \text{ m}^3)}{\pi(2 \text{ m})}}$$

$$D \approx 1.5 \text{ m}$$

Paso 4) Carga de DBOU volumétrica

$$[\text{DBOU}] = \frac{6.16 \text{ kg/d}}{4.95 \text{ m}^3}$$

$$[\text{DBOU}] = 1.24 \text{ kg/m}^3 - \text{d}$$

Paso 5) Masa de sólidos volátiles producidos por día

$$P_x = \frac{Y * Q * (S_o - S)}{1 + kd * \theta_c}$$

Donde:

$$Q * S_o = 6.16 \text{ kg/d}$$

$$\text{Eficiencia} = 60 \%$$

$$Q * S = 6.16 \frac{\text{kg}}{\text{d}} (1 - 0.6)$$

$$Q * S = 2.46 \text{ kg/d}$$

$$P_x = \frac{0.05(6.16 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \frac{2.46 \text{ kg}}{\text{d}})}{1 + (0.04 \text{ d}^{-1} * 15 \text{ d})}$$

$$P_x = 0.116 \text{ kg/d}$$

Paso 6) Porcentaje de estabilización

$$\%E = \frac{\left(6.16 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \frac{2.46 \text{ kg}}{\text{d}}\right) - 1.42 \left(0.116 \frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)}{6.16 \frac{\text{kg}}{\text{d}}} * 100\%$$

$$\%E = 57.4 \%$$

Paso 7) Volumen de metano producido por día

$$V_{\text{CH}_4} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} [Q(S_o - S) - 1.42 * P_x]$$

$$V_{\text{CH}_4} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left[\left(6.16 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \frac{2.46 \text{ kg}}{\text{d}}\right) - 1.42 \left(0.116 \frac{\text{kg}}{\text{d}}\right) \right]$$

$$V_{\text{CH}_4} = 1.24 \text{ m}^3/\text{d}$$

Paso 8) Producción total de gas (CH₄ + CO₂)

Debido a que 2/3 (67%) del gas del digestor es metano y el resto CO₂, entonces el volumen de gas total será:

$$V = \frac{1.24 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{0.67}$$

$$V = 1.85 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

C.12 Era de secado

De los criterios de diseño, considerando que se trata de una planta pequeña, se escogieron valores mínimos de los criterios.

Tabla C.6: Características de la era de secado

Característica	Valor
Ancho del lecho	4 m
Longitud del lecho de secado	5 m
Espesor de grava	20 cm
Tamaño de grava	5 mm
Profundidad de arena	20 cm
Tamaño efectivo de la arena	0.5 mm
Altura sobre la arena	20 cm
Distancia entre drenajes	0.5 m
Diámetro de tubería de drenaje	10 cm
Profundidad de aplicación	5 cm
Tiempo de retención	15 días

Fuente: Rojas, 2004

Paso 1) Volumen de lodos por aplicación

$$V = 3 \text{ m} * 5 \text{ m} * 0.05 \text{ m}$$

$$V = 0.75 \text{ m}^3/\text{aplic}$$

Paso 2) Cantidad de sólidos por aplicación

$$\text{Sólidos} = V * \rho_{\text{H}_2\text{O}} * S_{\text{esp}} * \% \text{ Sólidos}$$

$$\text{Sólidos} = \left(0.75 \frac{\text{m}^3}{\text{aplicación}}\right) * \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (1.02) * (0.07)$$

$$\text{Sólidos} = 53.55 \text{ kg/aplicación}$$

Paso 3) Tasa anual de carga de sólidos

$$\text{Área superficial del lecho} = 5 \text{ m} * 3 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$$

$$\text{Carga de sólidos por año} = \frac{\text{Sólidos aplicados} * 365 \text{ d/año}}{\text{área superficial} * \text{tR}}$$

$$\text{Carga de sólidos por año} = \frac{53.55 \text{ kg/aplicación} * 365 \text{ d/año}}{15 \text{ m}^2 * 15 \text{ d/aplicación}}$$

$$\text{Carga de sólidos por año} = 86.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 - \text{año}}$$

Esta carga de sólidos es la correspondiente a la ocupación de todo el espacio del lecho de secado. La carga de sólidos es satisfactoria, según los criterios, para lodos primarios y lodos activados, la carga de lodos debe estar entre 58 – 98 kg/m²-año (Metcalf & Eddy, 1998).

ANEXO D: BALANCE DE CONTAMINANTES

De los porcentajes de remoción encontrados en la literatura se toman valores medios y mínimos para tener una idea de la eliminación de cada contaminante por proceso unitario propuesto.

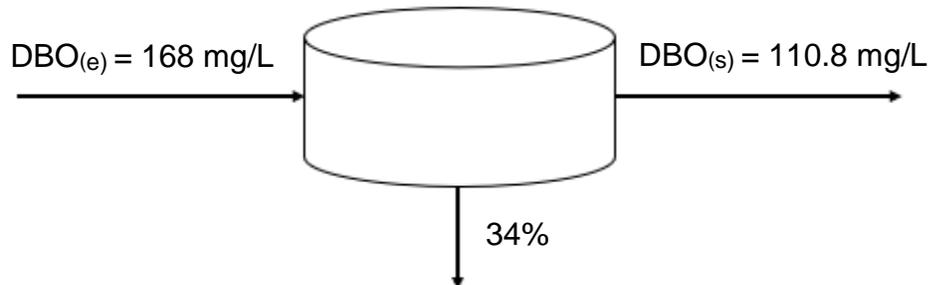
Para el cálculo de las concentraciones finales de cada contaminante se hace uso de la ecuación (5):

$$\% \text{ Remocion} = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100$$

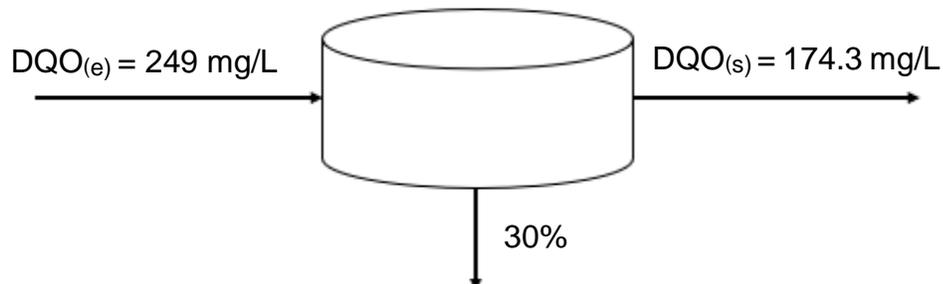
Donde los porcentajes de remoción son los adoptados de la bibliografía utilizada y las concentraciones de entrada son los valores resultantes de los análisis realizados (Acápite 8.2). Los cálculos por etapa de tratamiento se presentan a continuación:

D.1 Sedimentación primaria

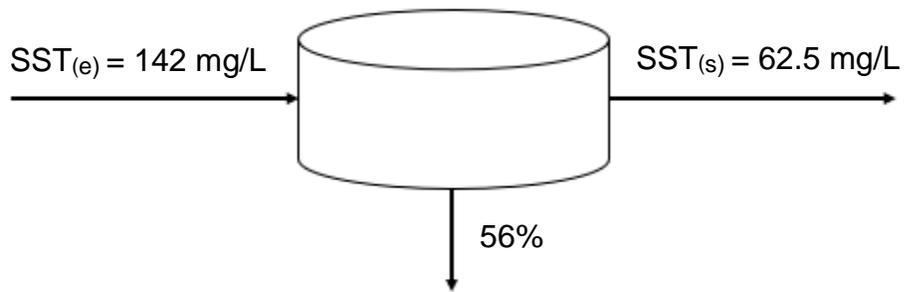
DBO



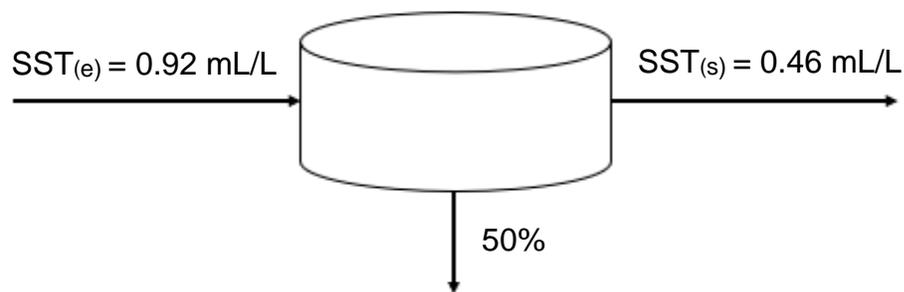
DQO



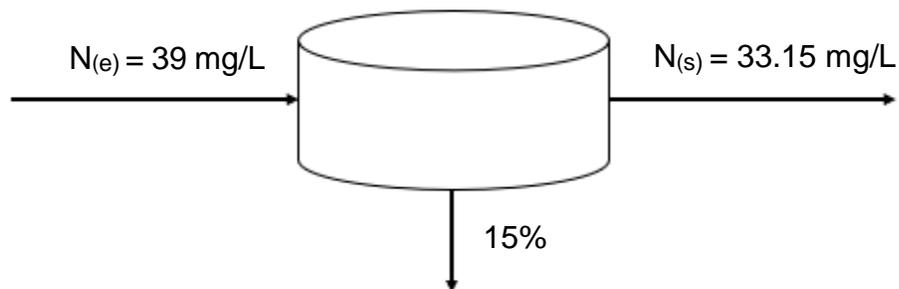
Sólidos Suspendidos Totales



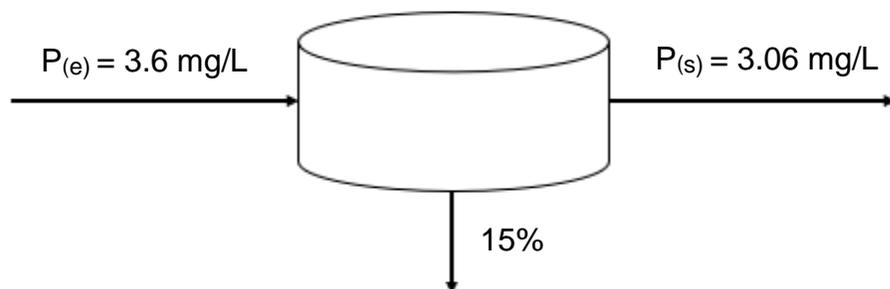
Sólidos Sedimentables



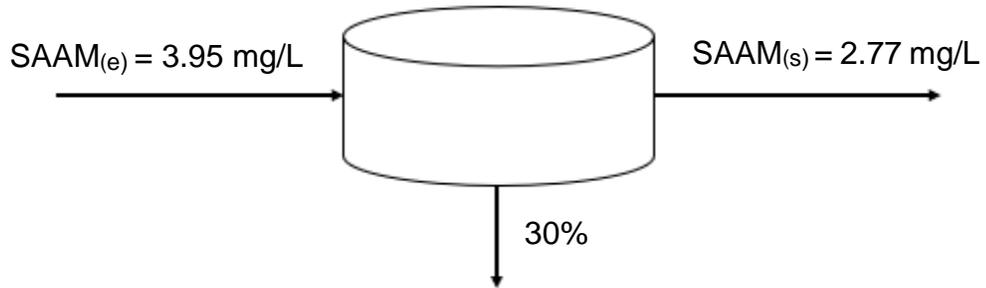
Nitrógeno Total



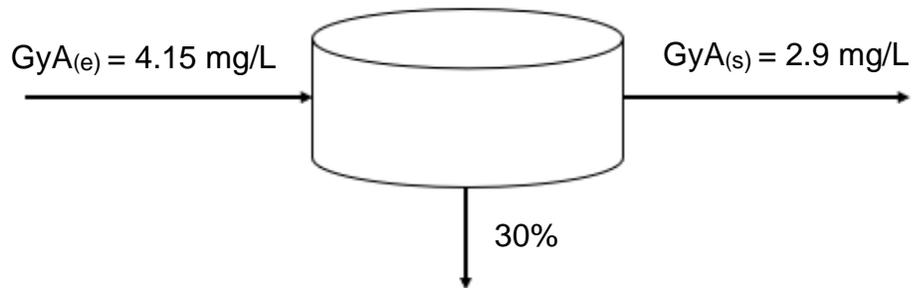
Fósforo Total



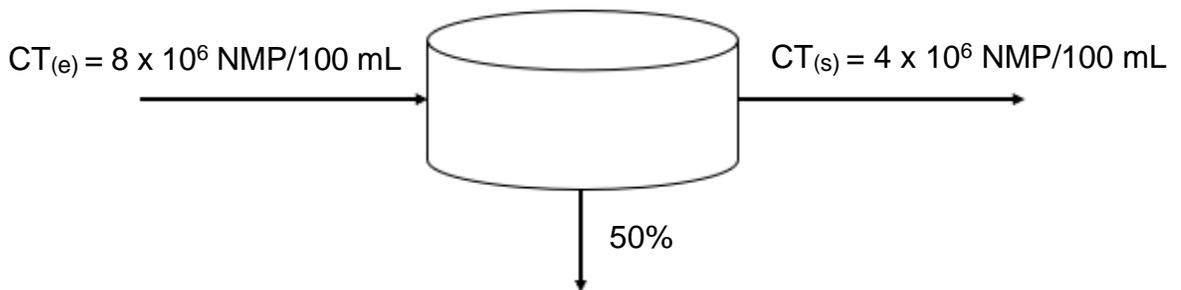
Sustancias Activas al Azul de Metileno



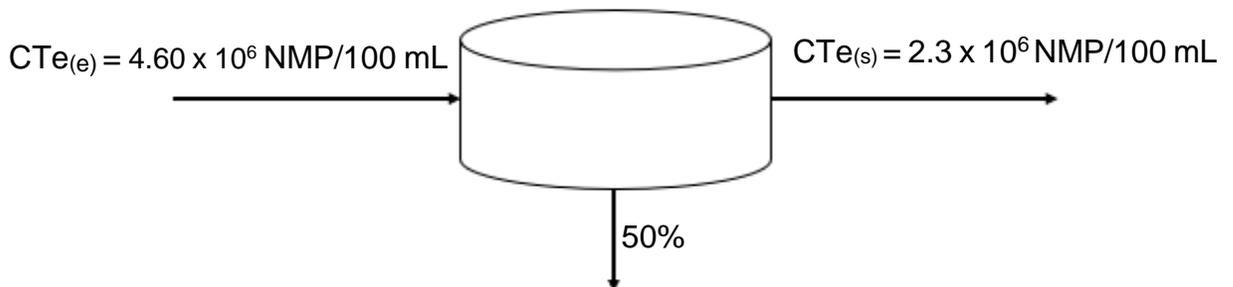
Aceites y Grasas



Coliformes Totales

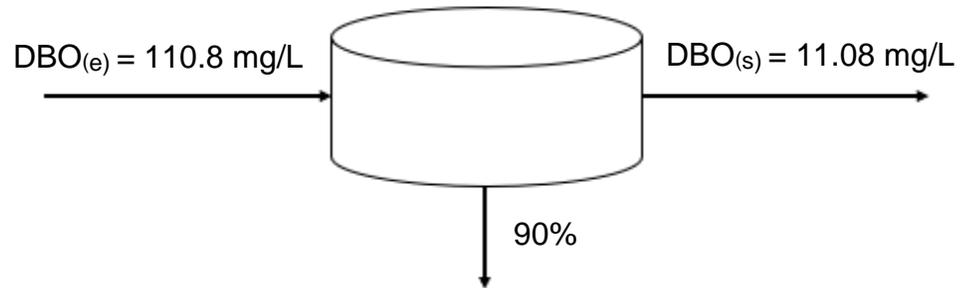


Coliformes Termotolerantes

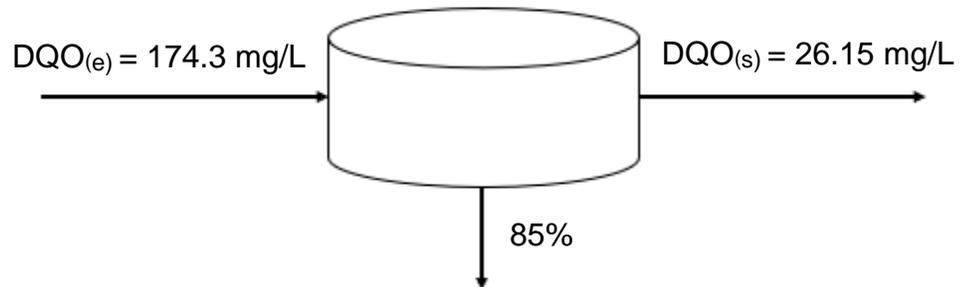


D.2 Lodos activados

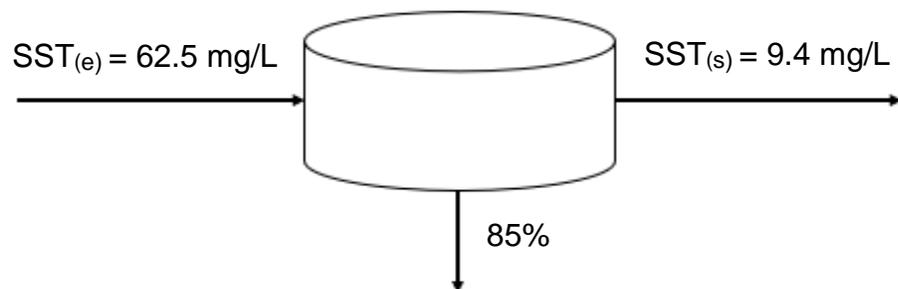
DBO



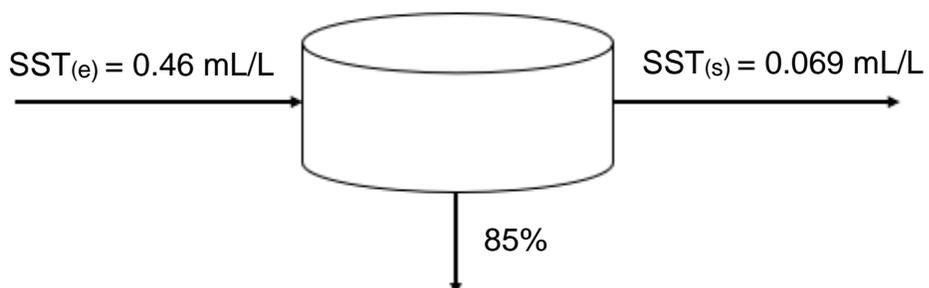
DQO



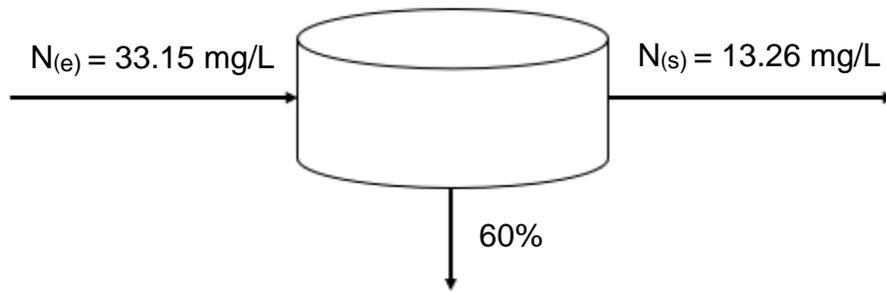
Sólidos Suspendidos Totales



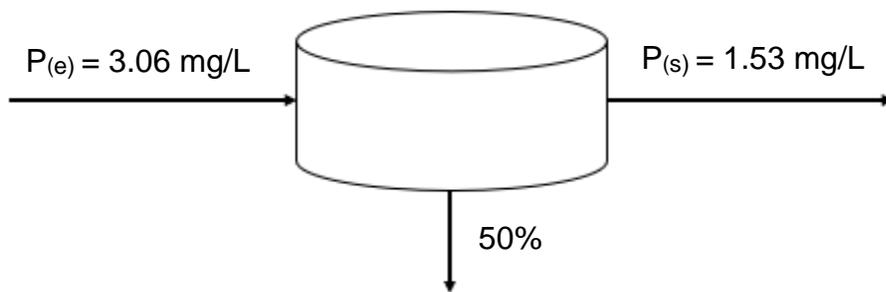
Sólidos Sedimentables



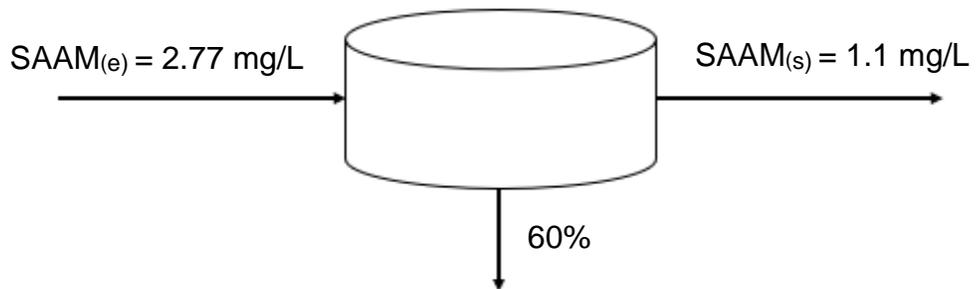
Nitrógeno Total



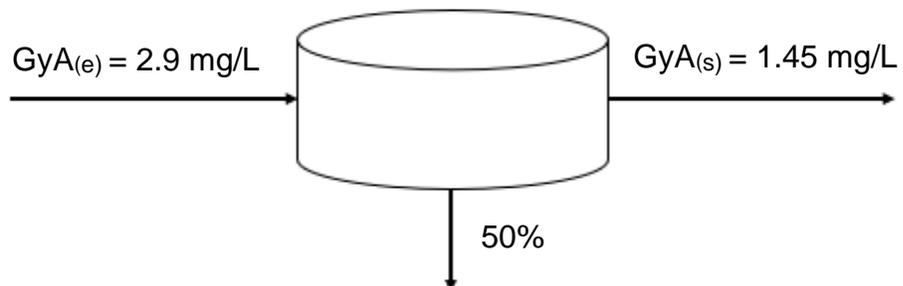
Fósforo Total



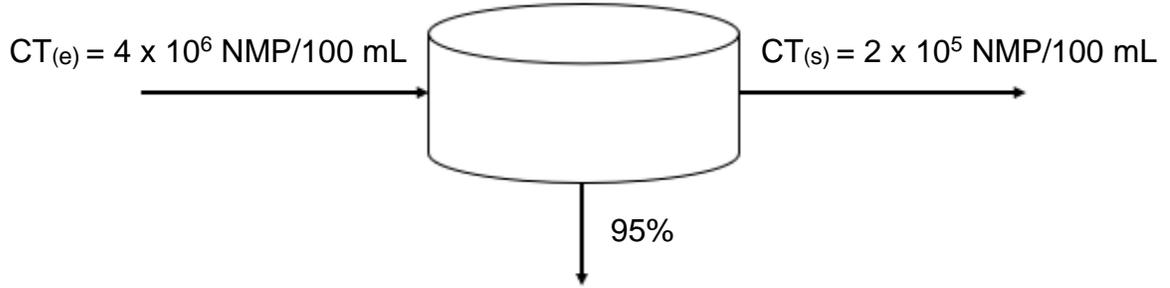
Sustancias Activas al Azul de Metileno



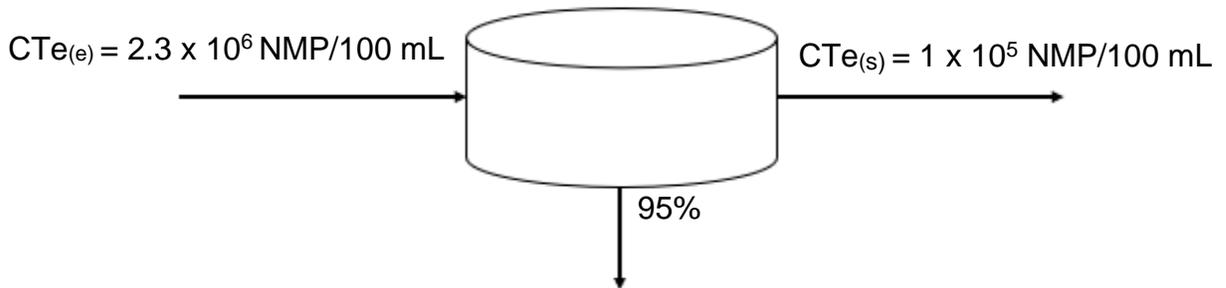
Aceites y Grasas



Coliformes Totales

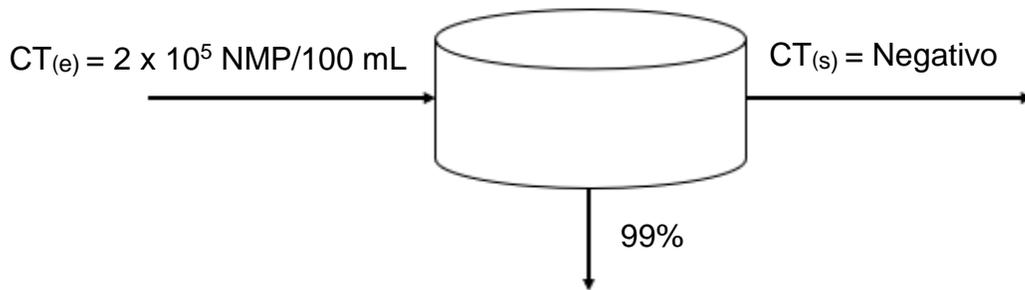


Coliformes Termotolerantes

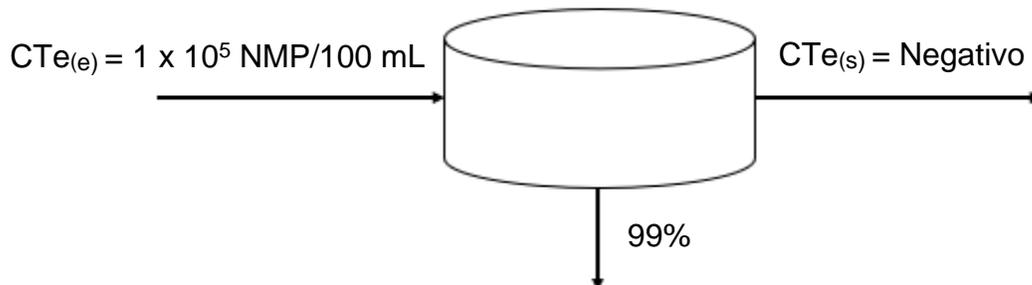


D.3 Desinfección

Coliformes Totales



Coliformes Termotolerantes



ANEXO E: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los operarios deberán leer todas las secciones de este manual antes de poner en funcionamiento los equipos, siguiendo las Normas de seguridad y procedimientos apropiados para evitar accidentes.

MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

Kaled Chacón
Kisbeld Peralta

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES HOSPITAL NILDA PATRICIA VELASCO
DE ZEDILLO**

JUNIO 2019

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	176
1 Química del agua	177
1.1 Parámetros y calidad de las aguas residuales	178
1.2 Verificación y procesamiento de datos de calidad de aguas residuales.....	166
2 Procesos unitarios para el tratamiento de aguas residuales	181
2.1.1 Composición y características de las aguas residuales.....	181
2.1.2 Tratamiento preliminar	182
2.1.3 Tratamiento primario.....	183
2.1.4 Tratamiento secundario	183
2.1.5 Tratamiento terciario	184
2.1.6 Tratamiento de lodos	184
3 Operación y control	185
3.1.1 Operación y puesta en marcha del sistema.....	185
3.1.2 Registro de datos de campo	186
3.1.3 Herramientas	187
3.1.4 Seguridad en planta.....	187
3.1.5 Instrucciones generales sobre seguridad	188
3.1.6 Salud.....	188
3.1.7 Mantenimiento preventivo general	189
3.1.8 Monitoreo.....	190

INTRODUCCIÓN

El presente manual contiene las acciones necesarias que se deben desarrollar para la buena operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas servidas del Hospital Nilda Patricia Velazco de Zedillo del municipio de Ciudad Sandino.

En los esfuerzos por resolver los problemas de contaminación que presentan las aguas residuales surge el concepto de redactar un manual que pueda proveer los conocimientos técnicos y de los procesos con los que operan en las instalaciones a los usuarios que operan el sistema, con el fin de que este no se ha abandonado como la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales construidos en Centroamérica por sus costos energéticos elevados y la falta de conocimiento técnico.

El contenido se ha preparado de tal manera que las áreas de personal de, operación, mantenimiento y seguridad, entiendan fácilmente, desde la química básica del agua, los procedimientos para controlar los procesos unitarios y la seguridad que debe existir para operar y mantener dicho sistema.

Esta es una información escrita en un lenguaje comprensible para personas que apenas terminaron la primaria dado que generalmente los operadores en la mayoría de los casos tienen conocimientos empíricos adquiridos a base de tiempo y esfuerzo, preguntando o informándose.



El agua

El agua es el compuesto que se precipita desde la atmosfera en los días lluviosos. Como compuesto químico el agua presenta propiedades que la alejan de los compuestos que tienen una conformidad molecular similar, sus características la hacen especial, es la única sustancia que en estado natural se presenta sobre la tierra, al mismo tiempo, bajo los tres estados físicos: líquido, gaseoso, sólido.

EL volumen de las sustancias disminuye al enfriarlas, el agua cuando llega a 4°C empieza a dilatarse y disminuye su densidad. Tiene la tensión superficial más alta, puede diluir muchas sustancias por su momento dipolar y una alta constante dieléctrica.

Las aguas residuales se distinguen por sus características físicas, químicas y biológicas.

Físicas	Químicas	Biológicas
Sólidos, olor, temperatura, densidad, color y turbiedad	Materia orgánica e inorgánica y compuestos orgánicos.	Eucariotas, eubacterias y arqueobacterias

1.1 Parámetros y calidad de las aguas residuales

Temperatura

La temperatura es el potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo. La temperatura de agua residual es comúnmente mayor que las aguas de suministro local.



pH

La determinación rutinaria del pH se realiza de manera electrométrica, a una temperatura cuyo valor está relacionado con el nivel de acidez.

El pH es un parámetro de gran importancia en donde un agua residual



con concentraciones de iones hidrogeno inadecuados presenta dificultad en tratamientos con procesos biológicos, el efluente puede modificar la concentración de dicho Ion en las aguas naturales si este parámetro no se modifica antes de la evacuación del agua.

Materia Flotante

El material flotante en aguas residuales es importante porque se acumula en la superficie, a menudo

es altamente visible, está sujeto a transporte inducido por el viento, puede contener bacterias patógenas o virus asociados con partículas individuales, que pueden concentrar significativamente metales e hidrocarburos clorados tales como pesticidas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad estimada de oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual. Es una característica importante de las aguas residuales, ya que expresa el oxígeno consumido cuando la oxidación no es realizada por un producto químico de oxidación fuerte.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la oxidación química fuerte de sustancias susceptibles de origen inorgánico y orgánico presentes en el agua. La DQO mide el contenido de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en una muestra usando un oxidante químico fuerte, tales como dicromato o permanganato de potasio (García, 2017).

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Son los sólidos no solubles que representan la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales

disueltos (Fajardo & UICN, 2005). Los sólidos totales incluyen el residuo retenido por un filtro (sólidos suspendidos) y el residuo que pasa a través del filtro (sólidos disueltos).

Sólidos Sedimentables

Es la materia que se deposita por acción de la gravedad en el fondo de cualquier recipiente o cuerpo receptor que contenga agua.

Los sólidos sedimentables en aguas superficiales y salinas, así como los desechos domésticos e industriales pueden ser determinados y reportados en base a un volumen (mL/L) o un peso (mg/L).



Aceites y Grasas Totales

Son las sustancias químicas no miscibles en el agua, pero solubles en solventes orgánicos.

Sustancias Activas al Azul de Metileno

Entran en aguas residuales principalmente por la descarga de desechos acuosos de lavado doméstico e industrial y otras operaciones de limpieza. Se combinan en una sola molécula, un

grupo fuertemente hidrófobo con uno fuertemente hidrófilo.

Arsénico

El arsénico es un elemento químico distribuido en la corteza terrestre, que se presenta de la forma química (As^{3+} y As^{5+}) fundamentalmente; la principal fuente de arsénico en las aguas es la dilución de minerales y menas de origen natural.

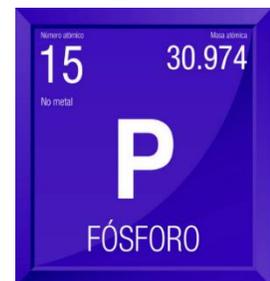


Nitrógeno Total

El nitrógeno es un nutriente esencial para todas las formas de vida y cambios pequeños en las concentraciones de nitrógeno biológicamente asequible pueden afectar drásticamente los niveles de la vida de los animales y las plantas. En el agua de origen residual existe amoníaco (NH_3) en forma no ionizada, que es tóxico y la forma ionizada (ion amonio, NH_4^+) relativamente no tóxico.

Fósforo Total

El fósforo se encuentra en aguas naturales y en aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos. Es esencial para el



crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente que limita la productividad primaria de un cuerpo de agua.

En los casos en que el fosfato es un nutriente que limita el crecimiento, la descarga de aguas residuales sin tratar o tratadas, el drenaje agrícola o ciertos desechos industriales en esa agua pueden estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades molestas

Coliformes Totales y Termotolerantes

Las cargas de la contaminación fecal generalmente son más relevantes en los efluentes municipales que en los efluentes de los hospitales. Esto es resultado de la mayor dilución del efluente del hospital debido al consumo significativo de agua por cama.

Se ha informado lo contrario de que la concentración de enterovirus es dos o tres veces mayor en el efluente del hospital que en el efluente municipal

1.2 Verificación y procesamiento de datos de calidad de aguas residuales.

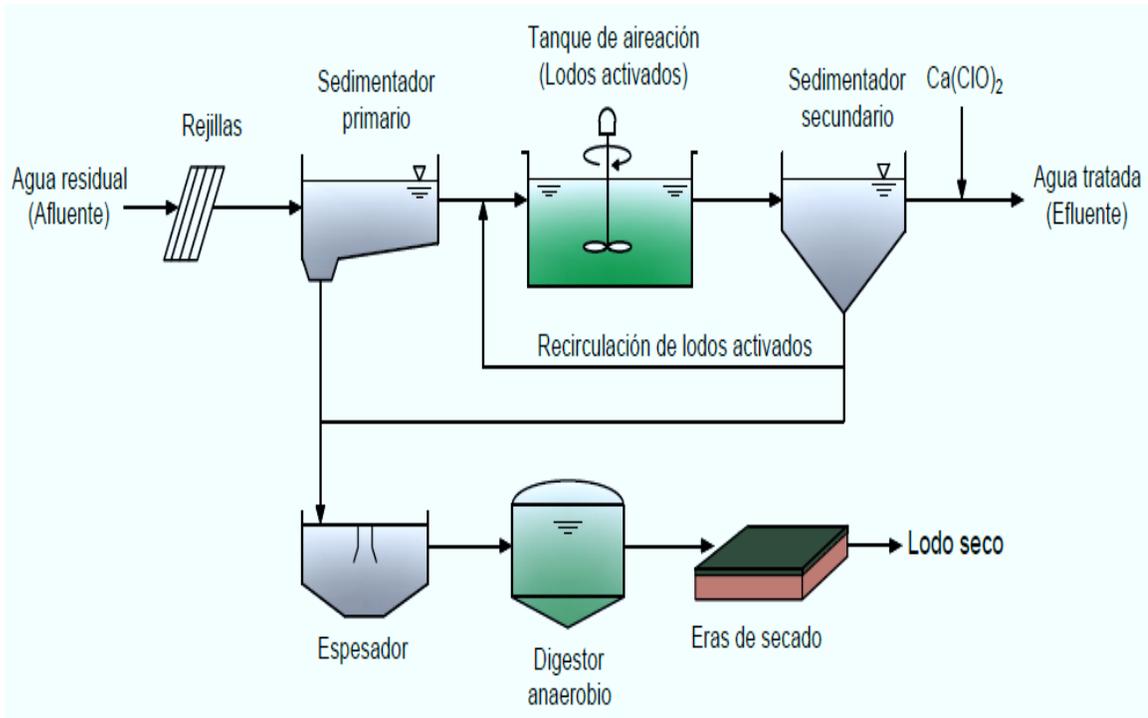
Las aguas residuales vertidas por una población pueden ser clasificadas de acuerdo a la presencia de contaminación provenientes de actividades industriales, compuestos orgánicos, cantidad de materia orgánica, metales pesados, ácidos y bases entre otros.

Existen relaciones entre los parámetros de calidad, mismos que proporcionan una idea de los valores que se deben obtener en los resultados de laboratorio.

Si la relación de la DBO total entre la DQO es mayor a 0.6 el agua presenta influencia doméstica, y si es menor a 0.6 el agua presenta influencia industrial.

$$\frac{DBO_T}{DQO_T} \geq 0.6$$

Procesos unitarios para el tratamiento de aguas residuales



2.1.1 Composición y características de las aguas residuales.

Aguas residuales

También llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contienen contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos, los cuales se colectan en un sistema de alcantarillado.

Características

Las aguas residuales son un líquido turbio de color gris y cuyo color no es

francamente ofensivo. Se observan sólidos flotantes de gran tamaño (materia fecal, papel, desperdicios de cocina, etc.), y sólidos desintegrados de menor tamaño. Su aspecto es debido a la presencia de sólidos muy pequeños en suspensión coloidal.

Composición

Consisten de sólidos disueltos y sólidos suspendidos. En aguas domésticas la cantidad de estos sólidos es baja, menos de 1 g/L de agua.

Aunque la fracción de sólidos sea baja, esta es la causa de una

diversidad de problemas en los sitios de descarga y los sólidos deberán ser removidos por tratamiento y disposición adecuada.

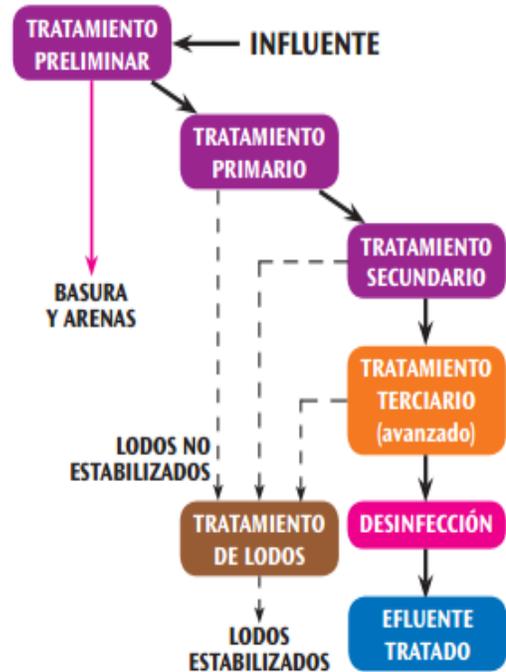
Plantas de tratamiento

Una planta de tratamiento de agua residual es un conjunto de estructuras y unidades en donde se remueven total o parcialmente los contaminantes contenidos en el agua.

Esto se logra a través de la utilización de los diferentes procesos, en orden creciente de complejidad o combinados, considerando variantes que se pueden aprovechar para lograr los requerimientos específicos de los tratamientos de bajo costo y con una alta eficiencia.

Entre los objetivos generales del tratamiento esta: evitar la contaminación del cuerpo receptor, producir mediante tratamiento un efluente cuyas características permitan su reutilización, cumplir con la normativa ambiental vigente y la protección de la flora y fauna.

Para el tratamiento de agua se requiere conocer de las siguientes etapas: Tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario, desinfección y tratamiento de lodos.



2.1.2 Tratamiento preliminar

Su objetivo es proteger el resto de las etapas de tratamiento con el fin de poder evitar problema posteriores en el sistema de tratamiento.

Sus principales etapas son: Desbaste, cribado, tamizado, desarenado, desengrasado, regulación y preaeración.



Rejillas

2.1.3 Tratamiento primario

Luego del tratamiento preliminar las aguas generalmente llegan a una sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque donde se mantienen las aguas en un lapso de 0.5 a 3 h para que los sólidos se depositen en el fondo del tanque.

Esta es una operación unitaria diseñada para que se concentren y se remuevan los sólidos suspendidos orgánicos del agua residual. Los sedimentadores se diseñan con paredes comunes con el fin de reducir los costos de construcción y aprovechar el espacio.



Sedimentador primario

Se deben retirar los lodos del tanque de sedimentación antes de que se desarrollen en él condiciones anaerobias.

La eficiencia del tanque puede verse afectada por: corrientes en la entrada debido a la inercia del fluido, corrientes inducidas por el viento, de

convección térmica, corrientes de densidades originadas por el acceso de aguas calientes o frías y estratificación térmica propia de climas calientes.

Los efectos ocasionados por la temperatura pueden tener consecuencias importantes en los tanques, dado que ya se ha observado que 1° C de diferencia entre la temperatura del influente de agua residual y la del agua contenida en el tanque, ocasiona la formación de corriente de densidad.

2.1.4 Tratamiento secundario

Se eliminan los desechos y sustancias que en la sedimentación no se eliminaron, se remueve la demanda bioquímica de oxígeno, durante este proceso se acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos.

Este es un proceso biológico en el que se facilita que las bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas, se lleva el efluente del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activados (microorganismos), los tanques están provistos de un sistema de burbujeo que garantiza la condición aerobia.

Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos con

sección en forma de cono en donde se da la decantación. El agua que sale contiene menos impurezas, una parte de los lodos son recirculados al tanque para una mayor oxidación de materia orgánica.



Proceso de lodos activados

La biomasa que se genera será removida en un sedimentador secundario.

En esta unidad se lleva a cabo el proceso de sedimentación de todos los sólidos en suspensión, contenidos en el agua proveniente del reactor biológico. Pueden ser de forma circular o rectangular.



Sedimentador secundario

2.1.5 Tratamiento terciario

Consiste en un proceso fisicoquímico que utiliza la precipitación, la filtración o cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos.

Dicho tratamiento proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente cumpliendo con las normativas de vertimiento antes que este sea descargado al ambiente receptor.

La cloración es uno de los procedimientos adecuados y económicos para la eliminación de microorganismos presentes al final del proceso de tratamiento. El producto más utilizado en las plantas de tratamiento es el cloro gas, ya que por los grandes consumos resulta ser el más conveniente por su bajo costo.

2.1.6 Tratamiento de lodos

El objetivo de este tratamiento es la estabilización para conseguir la degradación controlada de sustancias orgánicas y la eliminación del olor, también se logra la higiene y muerte de los organismos patógenos presentes, una reducción del volumen, así como un mejoramiento de las propiedades de los lodos para una utilización o disposición posterior.



3.1.1 Operación y puesta en marcha del sistema

Se consideran como labores generales de operación y mantenimiento para el operario las siguientes:

- Abra-cierre las válvulas y compuertas, vea si son de fácil operación y acceso.
- Verifique que existan señales que indiquen la posición de las válvulas (abierta - cerrada).
- Vea que la línea de agua y los canales estén libres de escombros que puedan obstruir el paso de las aguas.
- Verificar que no haya material extraño en las guías de válvulas y compuertas que impidan que asiente perfectamente.
- Verificar que estén pintadas y protegidas contra la corrosión.
- Revise el sistema completo siguiendo el flujo de agua desde el influente hasta la descarga al efluente.



- Retire los sólidos suspendidos en las rejillas de manera frecuente esto es necesario porque a medida que la basura se acumula en las rejillas, bloquean el canal de paso.



- Deposite los sólidos en recipiente metálico con tapas para ser entregados al servicio de limpieza municipal, o bien vaciados en una zanja y cubiertos con una capa de tierra (tipo relleno sanitario).



- El recipiente una vez vacío debe ser lavado antes de volver a usarlo para evitar la proliferación de moscas y emisión de malos olores.

- Control de flujo



- Tomar las muestras necesarias para realizar estudio del agua tratada.



Estas actividades se llevan en fichas para llevar una mejor inspección y control sobre el funcionamiento.

3.1.2 Registro de datos de campo

La recolección de muestras constituye la base del proceso de análisis del agua, tanto físico-químico como bacteriológico e hidrobiológico. Con el propósito de confiar en el resultado de los análisis si se confía

en la manera como la muestra ha sido recolectada.

- Determinar los puntos de recolección
- Identificar la muestra: lugar de recolección. Fecha, hora. Condiciones meteorológicas y nombre del recolector.

3.1.3 Herramientas

El operario debe contar con las siguientes herramientas:

- Manual de operación
- pH-metro de campo o papel tornasol (papel pH).



- Termómetro
- Pala
- Carretilla
- Llave Steelson, llaves (francesa, de cadena)
- Baldes
- Escobas
- Brochas

3.1.4 Seguridad en planta

Durante la realización de muestreos se deben utilizar Equipo de protección personal (EPP) para evitar poner en riesgo la integridad física del operador, están compuestos por:

- Uniforme



- Mascarilla



- Guantes



- Botas de hule/Zapatos con suela antiderrapante



- Gafas



El personal deberá recibir capacitación, desarrollar cursos y disponer de asesoramiento.

3.1.5 Instrucciones generales sobre seguridad

1. Cada trabajador es responsable por su propia seguridad; por lo tanto, debe conocer y cumplir las normas y evitar los riesgos.
2. Colocar letreros y señales para la prevención de accidentes en las diferentes vías al interior del sistema de tratamiento de aguas residuales.



3. Observe por dónde camina y asegúrese de estar en un lugar firme y seguro.
4. Cuando esté dentro de la planta de tratamiento de agua, no corra.

5. Mantenga la planta de tratamiento de agua siempre limpia y ordenada.
6. Debe conocer dónde están ubicados los extintores, las máscaras y los salvavidas.
7. Debe saber utilizar los equipos de seguridad.
8. Definir la ruta a ser seguida por los visitantes
9. Mantener libre de obstáculos las rutas de visita
10. Mantenga los equipos de seguridad en orden y haga una revisión permanente.
11. Cualquier accidente, por mínimo que sea, debe ser comunicado. Un rasguño puede ocasionar una fuerte infección.
12. Cualquier anomalía o cualquier defecto en los equipos, máquinas, etc., debe ser comunicada.
13. No use objetos como medallas, correas y brazaletes en el trabajo

3.1.6 Salud

Los trabajadores se convierten en portadores potenciales hacia sus hogares de diferentes tipos de enfermedades cuyos agentes están contenidas en las aguas residuales. Dentro de este contexto, las siguientes medidas deben ser observadas por todo el personal de la planta de tratamiento:

- No ingerir alimentos o fumar en la jornada de trabajo.



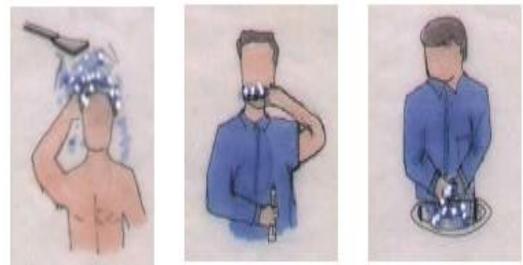
- Lavarse las manos con agua y jabón desinfectante antes de la ingestión de los alimentos.



- Lavar al final de la jornada de trabajo y previo a su almacenamiento, todo el material y equipo utilizado en el cumplimiento de sus funciones
- Los operadores y obreros al ingreso a la planta de tratamiento y previo a las labores de trabajo deberán cambiarse su ropa de vestir por prendas adecuadas y exclusivas para este fin.
- Durante la manipulación de las compuertas, remoción de material flotante, natas, etc., los operadores y obreros deberán utilizar guantes de cuero para prevenir posibles cortes.
- En la extracción de muestras de agua residual, se deberá utilizar

guantes descartables, para evitar contacto directo con las mismas.

- Todos los trabajadores de la planta de tratamiento, periódicamente deberán ser inmunizados contra enfermedades tales como fiebre tifoidea, hepatitis y tétanos.
- Al finalizar la jornada de trabajo, los operadores y obreros deberán tomar baño o asearse profusamente las principales partes del cuerpo.



- Los trabajadores no podrán llevar sus indumentarias de trabajo a sus casas.

Adicionalmente el sistema de aguas residuales deberá contar con un botiquín de primeros auxilios equipado con un mínimo de implementos y medicamentos contra cortaduras y heridas.

3.1.7 Mantenimiento preventivo general

A través de este se permitirá una correcta conservación de las instalaciones y de los equipos en buen estado, así mismo, alargando su vida útil. Consiste en la realización

de rutinas de trabajo que se llevan con frecuencias variables para prevenir desperfectos futuros. A continuación, se presentan algunas actividades que pueden realizarse como parte del mantenimiento preventivo:

- ✓ Inspeccionar el estado de las tuberías de distribución en la entrada de la planta para evitar obstrucciones en el sistema
- ✓ Mantenimiento y limpieza de tuberías
- ✓ Retirar los sólidos que obstruyan el paso del agua residual.
- ✓ Identificar los puntos de fuga de agua

3.1.8 Monitoreo

La información obtenida directamente por el operador y archivada sin procesarla carece de valor si no es adecuadamente resumida y divulgada oportunamente de modo que facilite su comprensión a la mayor parte de personas relacionadas con las labores de operación y mantenimiento del sistema, así como para la toma de decisiones relacionadas con el manejo de dicho sistema.

Los registros en general son de mucha importancia y necesidad en las labores de operación y mantenimiento de estos sistemas por

que permiten obtener información acerca de los aspectos siguientes:

- Eficiencia de los procesos de tratamiento.
- Efectividad del tipo y frecuencia de mantenimiento de los diferentes procesos con que cuenta la planta de tratamiento.
- Consideraciones para la modificación del plan de operación o mantenimiento.
- Evaluación del desempeño presente, así como de la información necesaria para el diseño de similares plantas de tratamiento.
- Justificación para la asignación presupuestaria de personal, requerimientos adicionales o equipamientos.
- Suministro de la información necesaria para la preparación de los reportes mensuales o anuales.

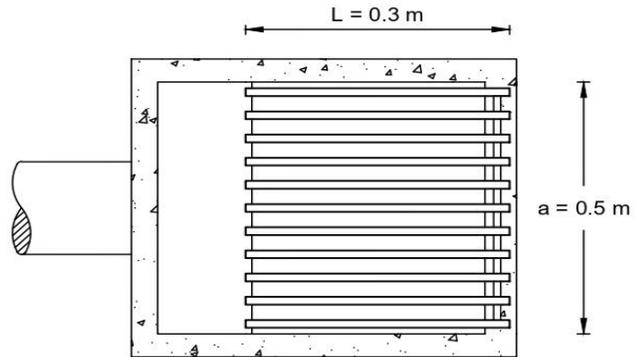
Para ejecutar el programa de mantenimiento se requiere elaborar unas fichas que servirán para controlar, solicitar, reportar, etc., las actividades que se van a ejecutar. Entre estas fichas, tenemos las siguientes:

- ✓ Orden de trabajo
- ✓ Solicitud de repuestos y materiales
- ✓ Reporte semanal de mantenimiento.
- ✓ Registro de determinación de costos

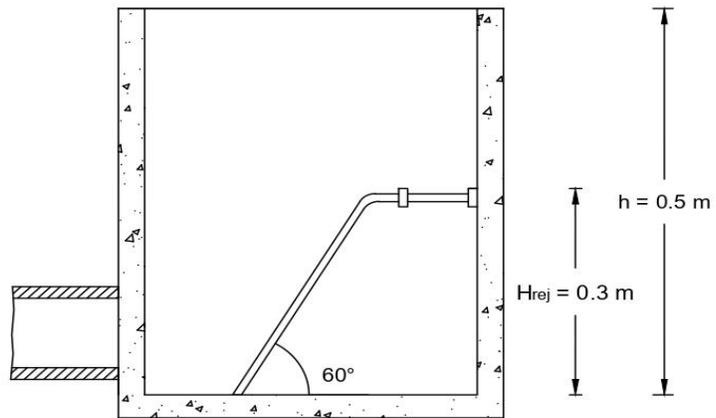
Operación y mantenimiento

Etapa de operación	Actividades	Equipo	Mantenimiento
Rejillas	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar limpieza dos veces al día si se opera constantemente. • Para evitar los malos olores producidos por los restos del material secado de la rejilla se debe aplicar óxido de calcio (Cal). • Es necesario que diariamente se revise el canal y semanalmente se proceda a rastrillar hacia el escurridor los materiales retenidos. 	Rastrillo metálico	<p>El operador debe utilizar el rastrillo para extraer los sólidos que se hayan retenido por las rejillas.</p> <p>Lo más común que sucede con el canal de rejillas es la oxidación de las barras que lo forman, por consiguiente, habrá que aplicar pintura anticorrosiva</p>
Sedimentadores	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia de la eficiencia • Abrir la válvula de drenaje para la evacuación de lodos y dejar evacuar toda el agua y sedimentos. • Medición del flujo de recirculación. • Remover los sedimentos del tanque, empujándolos hacia el drenaje y llevándolos fuera del lugar. 	Con palas, cubetas, baldes, tablas y carretilla.	Enjuagar completamente el tanque antes de restaurar su funcionamiento.
Línea de lodos	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar perfiles de Oxígeno Disuelto en el tanque de aireación • Extender los lodos en las áreas de secado • Limpiar el patio de secado y dejarlo apto para recibir la siguiente descarga. 		<p>Los difusores deben limpiarse.</p> <p>Una vez digestados los lodos y extraídos de la cámara, esta deberá ser limpiada removiendo cualquier resto de material de las paredes y la base.</p>

ANEXO F: UNIDADES DEL TRATAMIENTO

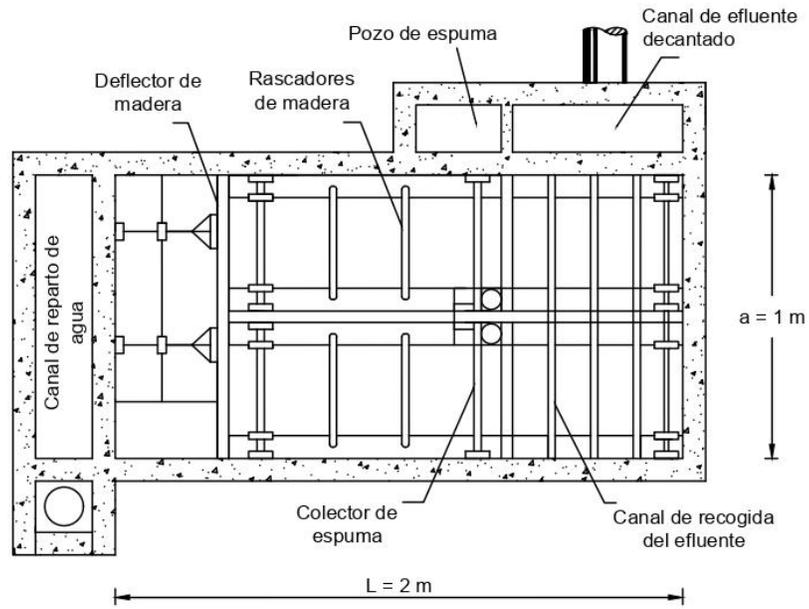


a) Planta

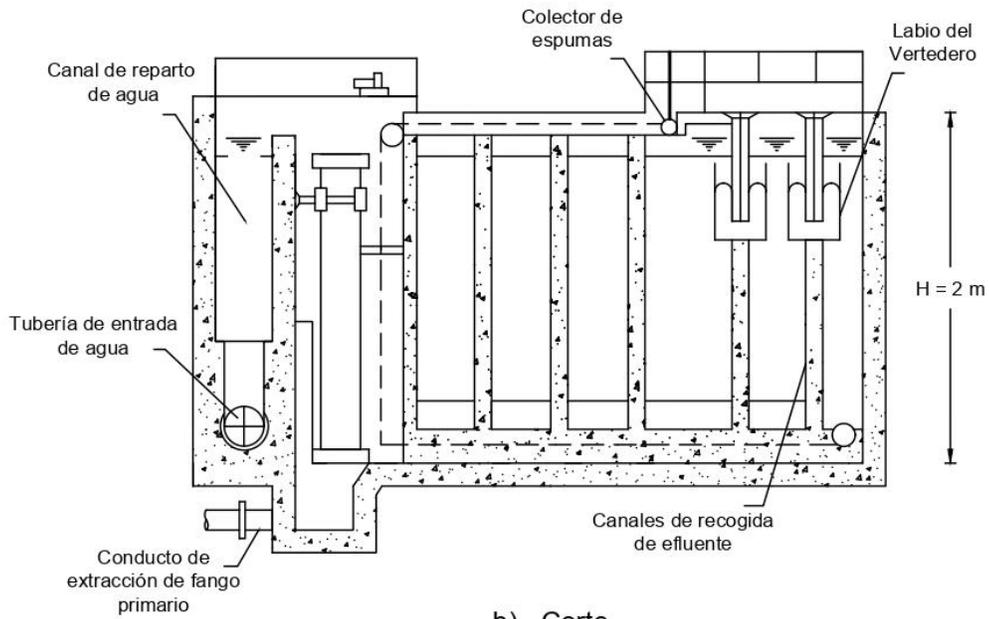


b) Corte

Figura F1: Rejilla de limpieza manual



a) Planta



b) Corte

Figura F2: Sedimentador primario rectangular

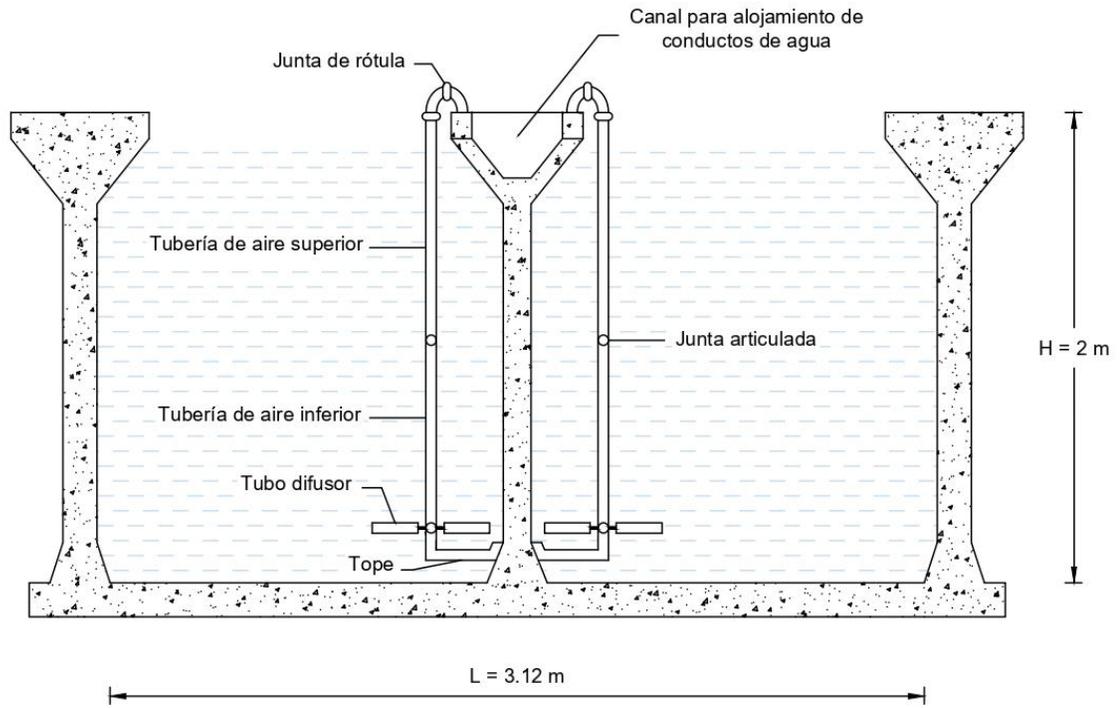


Figura F3: Tanque de aireación

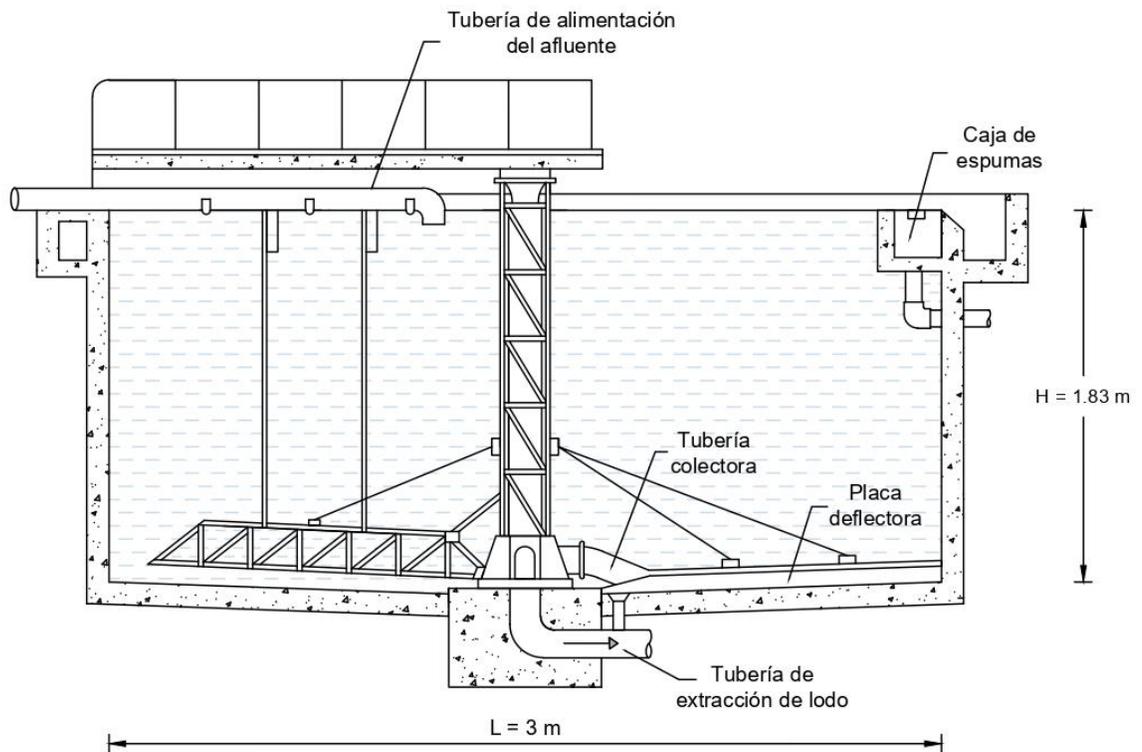


Figura F4: Sedimentador secundario circular

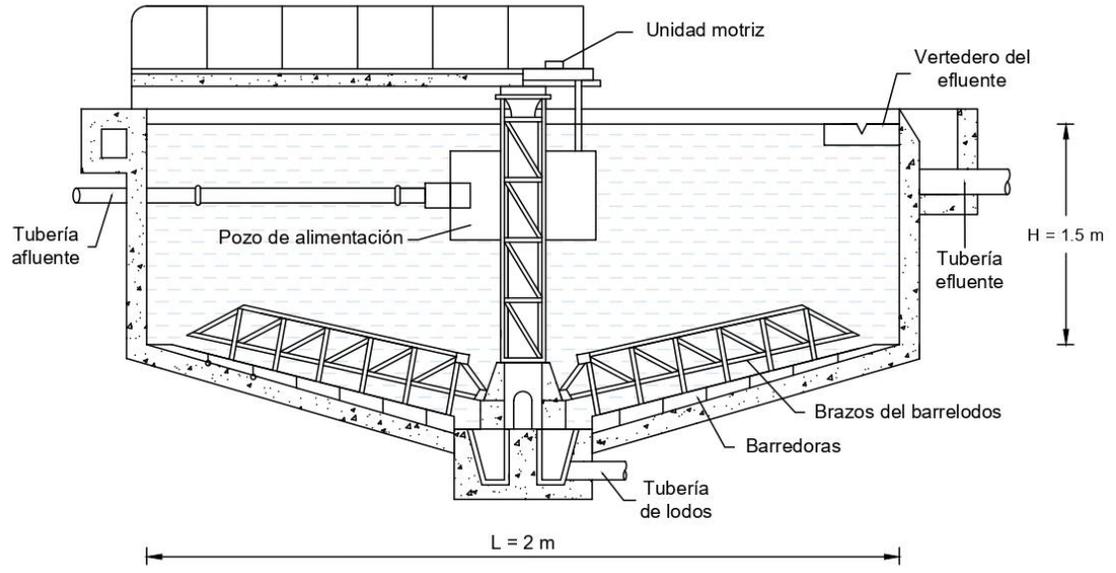


Figura F5: Espesador por gravedad

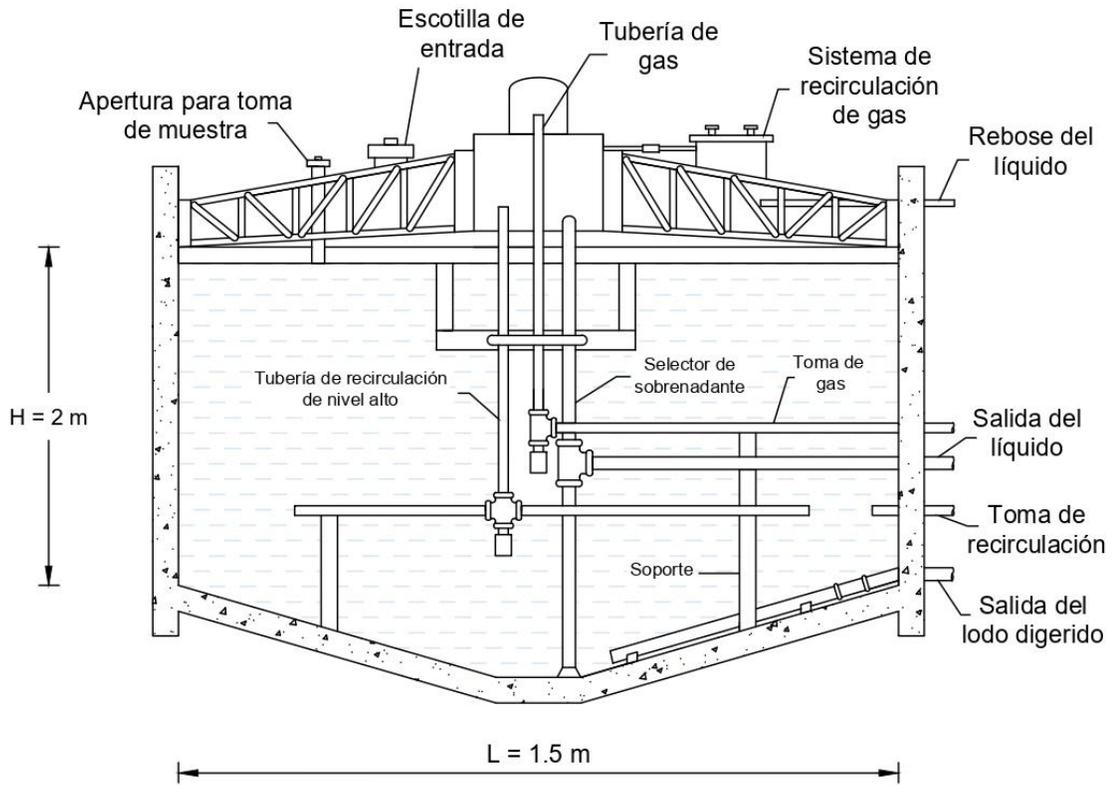
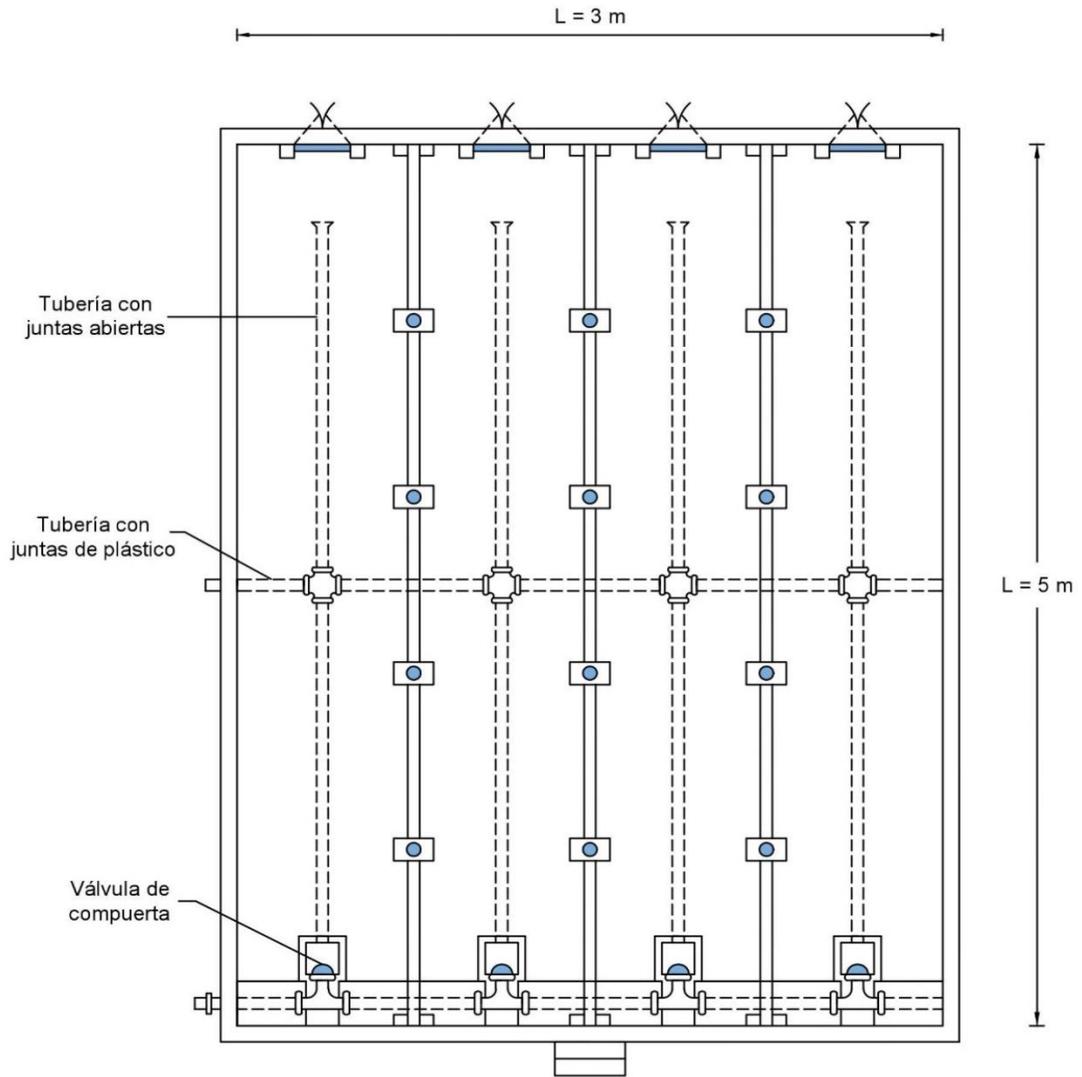
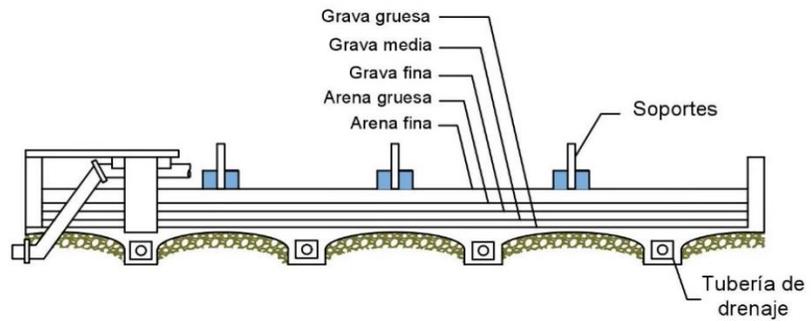


Figura F6: Digestor anaerobio



a) Planta



b) Sección transversal

Figura F7: Era de secado

