

PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN LA E.S.E HOSPITAL DEPARTAMENTAL UNIVERSITARIO DEL QUINDÍO
SAN JUAN DE DIOS.

JENNY ANDREA GIL SUAREZ

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTA, D.C
2018

PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN LA E.S.E HOSPITAL DEPARTAMENTAL UNIVERSITARIO DEL QUINDÍO
SAN JUAN DE DIOS.

JENNY ANDREA GIL SUAREZ

Proyecto integral de Grado para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO

Asesor
Elizabeth Torres Gámez
Ingeniera Química

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTA D.C
2018

Nota de aceptación

Ing. Elizabeth Torres Gámez
Presidente del Jurado

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina
Jurado

Ing. Alexander López Castro
Jurado

Bogotá D.C, Enero de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUÍS JAIME GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA PEÑA

Director Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Primero agradezco a mi familia por brindarme el apoyo para finalizar esta etapa de mi vida y iniciar una nueva con la realización de este proyecto de grado.

También agradezco a mis amigos y colegas por ser ejemplo, guiarme, instruirme y capacitarme en el área profesional, por confiar en mis capacidades y brindarme su tiempo en cada momento y a lo largo de mi paso por la universidad, para hacer realidad este gran paso.

A mi orientador y director Julian Sanchez que hizo de este trabajo un crecimiento profesional y personal para mí.

AGRADECIMIENTOS

A la E.S.E Hospital Departamental del Quindío San Juan de Dios y todo su personal por darme la oportunidad de desarrollar mi proyecto de grado.

A nuestra asesora Elizabeth Torres la cual nos ha dispuesto su tiempo, atención y sabiduría de la mejor manera, siempre apoyándome en cada fase del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
1. GENERALIDADES	18
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	19
1.1.1 Servicios prestados por el hospital	21
1.2 MARCO TEÓRICO	21
1.2.1 Normatividad	22
1.2.2 Parámetros evaluados en la norma	23
1.2.3 Tratamiento de las aguas residuales	26
2. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN	31
2.1 PROTOCOLOS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN	32
2.1.1 Insumos desinfectantes y detergentes.	32
2.2 BALANCE HÍDRICO	33
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	37
2.3.1 Desarrollo experimental	38
2.3.2 Tipo y características del monitoreo	40
2.3.3 Determinación de alícuotas	45
2.4 ANÁLISIS Y RESULTADOS	46
2.4.1 Comportamiento de Caudales en función del tiempo	46
2.4.2 Comportamiento de Temperaturas en función del tiempo	47
2.4.3 Comportamiento del pH en función del tiempo	48
2.4.4 Comportamiento de Sólidos Sedimentables en función del tiempo	49
2.4.5 Comportamiento Color en función del tiempo	50
2.4.6 Clasificación de las aguas residuales según Dureza	51
2.4.7 Comportamiento de la Alcalinidad y Acidez Total	51
2.4.8 Comportamiento compuestos de Nitrógeno	52
2.4.9 Comportamiento de iones	52
2.4.10 Comportamiento compuestos de Fósforo	53
2.4.11 Comportamiento de Fenoles	53
2.4.12 Comportamiento Sólidos Suspendidos Totales	53
2.4.13 Comportamiento DBO5 Y DQO	54
2.4.14 Comportamiento de Tensoactivos	54
2.4.15 Comportamiento de Metales y Metaloides	54
2.4.16 Comportamiento de Grasas y Aceites	55
3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	57
3.1 CAUDAL DE DISEÑO	57
3.2 PARÁMETROS DE ESTUDIO	57

3.2.1 Relación Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	58
3.2.2 Comportamiento Sólidos Suspendidos Totales (SST)	62
3.3 ALTERNATIVAS PLANTEADAS	64
3.3.1 Primera Alternativa	68
3.3.2 Segunda Alternativa	68
3.3.3 Tercera Alternativa	68
3.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN	69
3.4.1 Área de la planta	69
3.4.2 Proyección de la planta.	71
3.4.3 Costos.	71
3.4.4 Eficiencia.	72
3.4.5 Mantenimiento	72
3.4.6 Sostenibilidad	73
3.4.7 Manejo Operativo	73
3.5 MATRIZ DE SELECCIÓN	74
4. DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO SELECCIONADA A NIVEL LABORATORIO	77
4.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELEGIDO (ALTERNATIVA 1)	77
4.1.1 Coagulación – Floculación.	77
4.1.2 Dosis óptima de coagulante	82
5. ESPECIFICACION DE EQUIPOS	91
5.1 DIAGRAMA DE EQUIPOS	91
5.1.1 Trampa de grasas	92
5.1.2 Tanque Homogenizador	93
5.1.3 Sedimentador	98
5.1.4 Filtro de arena y carbon activado	98
6. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN	99
6.1 COSTOS DE INVERSIÓN	100
6.2 COSTOS DE OPERACIÓN	100
6.3 COSTOS TOTALES	101
7. CONCLUSIONES	103
8. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXOS	107

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación A. Cálculo de caudal	45
Ecuación B. Cálculo de Alícuota	45
Ecuación C. Diámetro del tanque homogenizador	94
Ecuación D. Altura del tanque homogenizador	94
Ecuación E. Potencia requerida	94
Ecuación F. Longitud de la paleta del impulsor	95
Ecuación G. Diámetro del disco	95
Ecuación H. Área del tanque homogenizador	97
Ecuación I. Área del sedimentador	97

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ciclo de relación de las aguas Residuales Hospitalarias	19
Figura 2. Ubicación E.S.E Hospital del Quindío San Juan de Dios.	20
Figura 3. Tratamiento de aguas residuales	27
Figura 4. Contaminantes más comunes en aguas residuales	27
Figura 5. Clases de contaminantes	28
Figura 6. Diagrama del balance hídrico del Hospital	37
Figura 7. Ubicación puntos de monitoreo	41
Figura 8. Punto de monitoreo "purga de caldera"	42
Figura 9. Punto de monitoreo "Lavandería"	42
Figura 10. Punto de monitoreo "trampa de grasas"	43
Figura 11. Puntos de monitoreo "Urgencias 1 y 2"	43
Figura 12. Punto de monitoreo "Descarga Locales"	44
Figura 13. Consulta externa	45
Figura 14. Ubicación de la PTAR dentro del Hospital	70
Figura 15. Área disponible para la implementación de la PTAR	70
Figura 16. Equipo utilizado en la prueba de jarras	79
Figura 17. Espectrofotómetro	80
Figura 18. pH Metro	80
Figura 19. Termómetro	81
Figura 20. Toma de muestras	82
Figura 21. Medición de volumen muestra Inicial	86
Figura 22. Sedimentación de muestras	87
Figura 23. Diagrama del sistema de tratamiento	91

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Consumo de agua por mes Ago/16 y Ago/17	34
Gráfica 2. Dependencia del índice cama/día con el consumo	35
Gráfica 3. Porcentaje del caudal por punto de monitoreo	36
Gráfica 4. Comportamiento Max /Min Caudales- Aguas Residuales	47
Gráfica 5. Comportamiento Temperatura Max/Min Aguas- Residuales	48
Gráfica 6. Comportamiento promedio pH - Aguas Residuales	48
Gráfica 7. Comportamiento Max/Min - Aguas Residuales	50
Gráfica 8. Concentración DQO Y DBO5	54
Gráfica 9. Concentración Grasas y Aceites	56
Gráfica 10. Concentración DBO5 Y DQO año 2014	59
Gráfica 11. Concentración DBO5 Y DQO año 2016	60
Gráfica 12. Concentración DBO5 Y DQO Año 2017	60
Gráfica 13. Concentración DBO5 Y DQO Año 2014,2016, y 2017	61
Gráfica 14. Relación DBO5/DQO Año 2014, 2016 y 2017	62
Gráfica 15. Concentración Sólidos Suspendidos Totales	62
Gráfica 16. Concentración SST Año 2014, 2016 y 2017	63
Gráfica 17. Turbiedad obtenida con las diferentes dosis (Ensayo1)	83
Gráfica 18. Turbiedad obtenida con las diferentes dosis (Ensayo 2)	85
Gráfica 19. Valores de turbiedad ensayo 3	87
Gráfica 20. Valores de DQO de los 3 ensayos	88
Gráfica 21. Comparación de mediciones de DQO iniciales y finales	89

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Distribución planta física	106
Anexo B. Recipientes de envase para cada parámetro de análisis	107
Anexo C. Parámetros de la Resolución 0631 del 2015	109
Anexo D. Reportes de monitoreo	110
Anexo E. Pruebas de jarras	119
Anexo F. Fichas técnicas Coagulantes	121
Anexo G. Procedimientos operacionales de los equipos utilizados	130
Anexo H. Resultados de laboratorio Post Tratamiento	152
Anexo I. Lista de precios de equipos	180

ABREVIATURAS

Qmd: Caudal medio diario

%R: Porcentaje de remoción

Vf: Volumen final

Vi: Volumen inicial

Ta: Tasa de aplicación

q: Carga hidráulica

Q Caudal

As: Área superficial

Ø: Tiempo de contacto

Vf: Velocidad de flujo

Bp: Longitud de las paletas

A: Área

L: Longitud

P: Potencia

GLOSARIO

COAGULACIÓN: es el proceso mediante el cual se preparan las partículas que se encuentran dispersas en el agua, por medio de la anulación de las cargas superficiales.

FLOCULACIÓN: es un proceso químico de separación donde se utilizan aditivos que cambian la carga de las moléculas suspendidas en la solución, lo cual ocasiona que se aglomeren aumentando su peso y permitiendo su separación por precipitación.

INDICE CAMA-DÍA: Es la estancia de un paciente hospitalizado ocupando una cama de hospital, durante el período comprendido entre las 0 horas y las 24 horas de un mismo día.

PRE TRATAMIENTO: es el primer procedimiento que se realiza para la adecuación del agua, el cual busca acondicionar el agua captada para simplificar posteriormente los tratamientos continuos, buscando así prevenir erosiones y taponamientos.

SEDIMENTACIÓN: consiste en una separación mecánica en la que las partículas sólidas de una suspensión se separan por acción de la fuerza de gravedad, debido a que su peso específico es mayor al de fluido.

TEST DE JARRAS: es una prueba de laboratorio que permite conocer las condiciones propicias para que un sistema de tratamiento de aguas funcione óptimamente, sirve como simulador de los procesos de coagulación - floculación permitiendo realizar ajustes de pH, dosificación y los parámetros de funcionamiento de la planta.

TURBIEDAD: es una medida del grado en el que el agua presenta dificultad para transmitir luz debido a la presencia de partículas insolubles en suspensión.

TRATAMIENTO PRIMARIO: son procesos unitarios los cuales por medio de operaciones físicas buscan la eliminación de sólidos flotantes y sedimentables; su objetivo es la retención de partículas finas y gruesas con una alta densidad.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: es el tratamiento en el cual se tiene como objetivo remover la materia orgánica que no fue eliminada en el tratamiento primario, a través de procesos químicos o biológicos.

RESUMEN

Para la realización del trabajo de grado se propone un sistema de tratamiento de agua residual para la ESE Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios, la empresa otorga la caracterización inicial del agua, la cual es comparada con la normatividad ambiental vigente (Res. 631 del 2015), donde se destacan tres parámetros límites permisibles que incumplen, siendo estos concentración de DBO5, DQO y Sólidos Suspendidos Totales.

Con base a estos parámetros, se realizan cuadros comparativos bibliográficos que incluyen ventajas y desventajas sobre costos, eficiencia, mantenimiento y manejo operativo, con el fin de evaluar las opciones de tratamiento posibles para esos parámetros en particular. Se otorga un porcentaje de evaluación a ciertos criterios que se determinan importantes para la designación adecuada del sistema de tratamiento de aguas residuales del hospital.

Después de la elección de la alternativa por medio de una matriz de selección, se procede a corroborar esta, por medio de una práctica experimental a nivel laboratorio. Esta se basa en la simulación del proceso de clarificación propuesto por medio del test de jarras obteniendo así la dosificación óptima para el sistema de tratamiento del agua residual del hospital.

Para verificar que el proceso fue correcto, se analiza el agua después de la experimentación, por medio de la medición de los parámetros que incumplen, siendo estos resultados positivos y permitiendo seguir con el dimensionamiento de los equipos pertenecientes al proceso y finalmente el análisis de costos, donde se realiza la cotización de los equipos, honorarios de personal e instrumentos utilizados para su funcionamiento, dando así un estimado de la inversión y operación del sistema.

Palabras clave: Clarificación, test de jarras, tratamiento agua residual industrial y domestica

INTRODUCCIÓN

La ESE Hospital Universitario Departamental del Quindío San Juan de Dios se encarga de prestar servicios de atención a la salud y sus procedimientos generan en promedio 5368,3 m³ de residuos líquidos vertidos al alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento y con un gran contenido de químicos, fluidos corporales de alto riesgo biológico y medicamentos excretados, considerados como una de las principales fuentes de contaminantes emergentes.

El principal residuo que la entidad prestadora de salud debe manejar proviene básicamente de los estrictos protocolos de limpieza y desinfección y las aguas domésticas derivadas de **los** procesos asistenciales lo que representa el 90% de los residuos líquidos generados.

En general, los efluentes del Hospital son alcalinos con alta DBO, DQO, Grasas y aceites y sólidos suspendidos. Entonces en el presente trabajo se selecciona una alternativa de tratamiento efectiva en la remoción de dichos parámetros de ARnD (Aguas Residuales no Domésticas) generadas con el fin de cumplir con los requerimientos y la normatividad ambiental vigente

Con la implementación de esta propuesta, el Hospital podrá contar con el sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, que le permitirá mejorar la calidad del agua hasta los parámetros límites por la ley aprobando el vertimiento del agua sin afectar la salud pública o verse expuesto a sanciones y/o tasas retributivas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales para la E.S.E Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios.

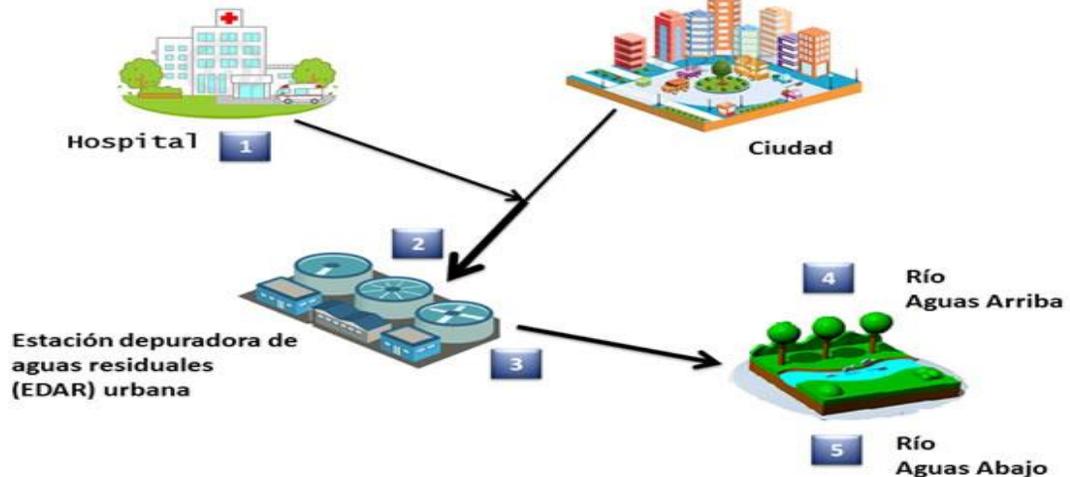
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las condiciones actuales del agua vertida al alcantarillado público por el Hospital
- Seleccionar el sistema de tratamiento por medio de desarrollo experimental.
- Determinar las especificaciones técnicas para el sistema de tratamiento.
- Realizar una estimación de costos de inversión y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1. GENERALIDADES

En este capítulo se realiza la descripción general del Hospital Departamental Universitario San Juan de Dios, los servicios prestados, las fuentes de vertimiento y la normatividad vigente para las aguas residuales.

Figura 1. Ciclo de relación de las aguas Residuales Hospitalarias



Fuente: ICRA. Aguas residuales. [En línea] <<https://www.icra.cat/noticias/antibiocuticulos-presentes-aguas/371/>>

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La ESE Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios. Es una institución prestadora de servicios en salud de mediana y alta complejidad. El área de influencia del hospital no se limita solo al departamento del Quindío, debido a que se ha reportado la asistencia a pacientes del Norte del Valle del Cauca y de algunas veredas del Tolima cercanas a Cajamarca.

Actualmente, la ESE Hospital cuenta con 305 camas (dato Agosto 2017) y es el único establecimiento de tercer nivel que sirve de apoyo y referencia a las demás Instituciones del Departamento. En la actualidad el Hospital presenta una situación económica sostenible, y se encuentra prestando sus servicios a toda la comunidad en una forma oportuna.

El Hospital se encuentra en una zona residencial de estrato alto, ubicado en el Barrio El Nogal sobre el eje vial de la Avenida Bolívar, principal avenida de la ciudad de Armenia¹.

¹ Información suministrada por el departamento de planeación del Hospital

Figura 2. Ubicación E.S.E Hospital del Quindío San Juan de Dios.



1.1.1 Servicios prestados por el hospital. La Institución cuenta con una distribución física de los servicios y áreas como se presenta a continuación:

La distribución del hospital se encuentra descrita en el Anexo A.

La ESE Hospital realiza reuniones con el Comité de Vertimientos Municipal donde dicho comité comienza a exigirle desde hace varios años a la institución una serie de requerimientos encaminados a obtener el certificado de vertimientos. Entre las prioridades del Comité se deja muy claro que la caracterización de aguas residuales es fundamental para iniciar con las acciones de cumplimiento en esta materia. De acuerdo, con la solicitud realizada por las Empresas Públicas de Armenia y en particular, el mismo Comité de Vertimientos Municipal identifica las salidas y las cajas de aforo representativas para realizar una caracterización que incluyera los siguientes parámetros en cada punto de muestreo:

- **Generales:** pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSED), Grasas y Aceites, Fenoles, Formaldehído, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).
- **Compuestos de fósforo:** Ortofosfatos (PO₄), Fósforo Total (P).
- **Compuestos de Nitrógeno:** Nitratos (NO₃), Nitritos (NO₂), Nitrógeno Amoniacal (NH₃), Nitrógeno Total (N).
- **Metales y Metaloides:** Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Plomo (Pb).

- **Y Otros Parámetros para Análisis y Reporte:** Acidez Total mg/L, Alcalinidad Total, Dureza Cálcica (Ca^{2+} y Mg^{2+}), Dureza Total mg/L, Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm).

Conforme a lo anterior, la ESE Hospital realiza la caracterización el 11 y 12 de Agosto del 2017 de todos los parámetros de la Resolución 631 del 2015 en (8) puntos de muestreo. La empresa contratada para la caracterización fue ANTEK S.A.S de Bogotá D.C.

para realizar el análisis respectivo, los puntos de muestreo son nombrados de la siguiente forma, con respecto a su ubicación:

- 1: Lavandería
2. Purga Caldera
3. Salida principal
4. Descarga Locales
5. Salida trampa de grasa
6. Urgencias I
7. Urgencias II
8. Consulta Externa.

Se realiza también un levantamiento de planos hidrosanitarios actualizado; donde se identifica un punto de acopio de aguas, donde se reúnen los 8 puntos anteriormente mencionados.

1.1.2 Características de las aguas residuales. Las caracterización y la calidad de un efluente y/o afluente se valora cualitativa y cuantitativamente a partir de variables físicas, químicas y biológicas.

Los resultados de los monitoreos permiten el análisis de indicadores de contaminación del agua y su afectación. Un análisis correcto de estos indicadores permite la evaluación de programas de gestión de recursos hídricos y uno de los análisis que permite evaluar el impacto de la actividad hospitalaria sobre los recursos hídricos es la determinación de la carga contaminante (DBO_5 Y DQO) asociada al caudal de aguas residuales que se genera diariamente.

1.2 MARCO TEÓRICO

Las aguas hospitalarias tienen un alto contenido de químicos, fluidos corporales y medicamentos, considerados como una de las principales fuentes de contaminantes emergentes derivados de los procedimientos, tanto asistenciales como sus protocolos de limpieza y desinfección, generando residuos líquidos que son dispuestos a la red de alcantarillado. (Tabla 1) se muestra los indicadores de contaminación ambiental y toxicidad de las aguas residuales de diferentes hospitales del mundo.

Tabla 1. Comparativo de parámetros entre hospitales en latino américa²

Indicador	DQO	DBO	Nt	P	pH	CE	SS	DBO/DQO
Hospital	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	U	mg/L	mg/L	
Clinica San jose de San Martin	257	77	-	1,8	-	-	-	0,30
San Luis Potosí	431	200	-	5,99	7,89 6,97	7,06 911,3	-	0,46
C. HABANA	612	295	11 94	1 1,7	5,8 8,6	670 1900	-	0,48
Sudeste de Francia	1223	603	-	-	7,85	1	225	0,49
Universidad Viena	349,5	-	31 57	5,4 9,3	-	-	101 184	-
Comunidad Haidian	277	55	10 24	-	-	-	-	0,20
Setenta en Irán	527	348	-	-	-	-	291	0,66
Shevom Shaban	483,5	367,5	18	-	6 8	-	153 550	0,76
Colegio Médico Christian	1067	-	-	-	7,36	-	531	-
H. San Juan de Dios	232,81	140,5	-	-	7,9	-	-	0,60
NC Vertimiento*	200,00	150,00	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	6,00 a 9,00	-	50,00	0,5
Nota: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrogeno total (Nt), Fosforo (P), Conductividd eléctrica (CE), Solidos Suspendidos (SS).								
*Límites máximos permisibles Res 0631/2015								

La relación anterior entre la DBO₅ y la DQO da una idea del nivel de contaminación de las aguas. (DBO₅/DQO).

Si la relación (DBO₅/DQO)<0,2 entonces se determina que son vertidos de naturaleza industrial, poco biodegradables y son convenientes los tratamientos físico-químicos.

Si la relación (DBO₅/DQO)>0,5 entonces se determina que son vertidos de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor. Estas aguas residuales, puede ser tratadas mediante tratamientos biológicos³.

1.2.1 Normatividad. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presenta en el 2015 la Resolución 0631 de Vertimientos Puntuales a Cuerpos de Aguas Superficiales y a los Sistemas de Alcantarillado Público, que busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de agua naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país.

² Artículo "Aguas Residuales hospitalarias" INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXIX, No. 2, 2008

³ Índice de biodegradabilidad para el tratamiento de aguas

Tabla 2. Parámetros Resolución 631 del 2015⁴

RESOLUCION 631 DE 2015		
PARÁMETRO	UNIDADES	ACTIVIDADES DE ATENCIÓN A LA SALUD HUMANA -ATENCIÓN MEDICA CON Y SIN INTERNACIÓN
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	150,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00
Fenoles	mg/L	0,20
Formaldehído	mg/L	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (PO ₄)	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (NNO ₃ -)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (NNO ₂ -)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno	mg/L	Análisis y Reporte
Amoniacal (NNH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0,50
Metales y Metaloides		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Cromo (Cr)	mg/L	0,50
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,10
Otros Parámetros para Análisis y Reporte		
Acidez Total mg/L	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálctica (Ca ²⁺ y Mg ²⁺)	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total mg/L		Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte

Esta norma identifica los parámetros y valores permisibles a tener en cuenta, dependiendo de la actividad que realiza la empresa, para el caso del hospital, esta debe regir por el sector de actividades asociadas con servicios y otras actividades, en el artículo 14 de la norma, en el ítem de actividades de atención a la salud humana, atención médica y sin internación.

1.2.2 Parámetros evaluados en la norma. A continuación se describen cada uno de los parámetros evaluados por la Resolución 631 del 2015 para el Hospital. **Generales⁵**

⁴ Resolución No. 0631 del 17 de marzo 2015. "Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones". Pág. 102.

⁵ Romero Rojas Jairo A. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Pág. 26-45

pH. Es la concentración de iones hidrógeno en el agua, expresada como el algoritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Las aguas residuales con concentración invertida del ion hidrógeno son complejas de tratar a nivel biológico, porque alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Determina el oxígeno consumido por la presencia de sustancias químicas tanto orgánicas como inorgánicas en el cuerpo de agua que son susceptibles a ser oxidadas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Determina la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas.

Sólidos Suspendidos Totales (SST). Material particulado que se mantiene en suspensión en la corriente de agua, estos son la cantidad de residuos que son retenidos en un filtro y posteriormente secado.

Sólidos Sedimentables (SSED). Volumen de las partículas sólidas que se depositan por la fuerza de la gravedad en un recipiente donde el líquido permanece inmóvil durante 60 min.

Grasas y Aceites. Sustancias de origen vegetal o animal, esteres formados por moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerol, pueden ser sólidos (grasas) o líquidos (aceites).

Fenoles. Compuestos comunes en efluentes de la industria del petróleo, el carbón, plantas químicas, fabricas de explosivos, de resinas y otras. Estos causan problemas organolepticos en agua potable que se clarifica con cloro; en aguas residuales se consideraron no biodegradables, pero se ha demostrado que son tolerables concentraciones hasta de 500 mg/L. Tienen una alta demanda de oxígeno.

Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Estas sustancias denominadas detergentes o como sustancias activas al azul de metileno, son un indicador de calidad para el agua potable y cuando sean detectadas en suministros, las medidas correctivas deben ser de gran prioridad.

Compuestos de Fósforo⁶

⁶ ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO [base de datos en línea] (septiembre –octubre 2017).[citado el 25 de octubre de 2017] disponible en < <http://www.dspace.esPOCH.edu.ec>>

Ortofosfatos (PO₄). Fosfatos avanzados definidos como sal inorgánica del ácido fosfórico. Los fosfatos forman una parte importante de la carga en las aguas residuales. Pueden ser eliminados por métodos fisicoquímicos precipitándolos con cloruro férrico (FeCl₃) o son retenidos en los fangos activos que se separan y luego pueden ser reconvertidos en compost para abonos orgánicos.

Fósforo Total (P). Ese parámetro determina todas las formas del fósforo presentes. Los fosfatos forman una parte importante de la carga en las aguas residuales. Pueden ser eliminados por métodos fisicoquímicos precipitándolos con cloruro férrico (FeCl₃) o son retenidos en los fangos activos que se separan y luego pueden ser reconvertidos en compost para abonos orgánicos.

Compuestos de Nitrógeno⁷

Nitratos (NO₃), Nitritos (NO₂), Nitrógeno Amoniacal (NH₃), Nitrógeno Total (N). Las aguas residuales son frescas sí, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana. A medida que el agua se estabiliza, por oxidación bacteriana en medio aerobio se generan nitritos y posteriormente nitratos. El predominio de la forma de nitrato en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. El nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato.

Iones

Cianuro Total (CN⁻). Se refiere a todos los grupos (CN⁻) en compuestos químicos que pueden ser determinados como ión cianuro. Los cianuros son compuestos potencialmente tóxicos y ante un cambio de pH del medio puede liberar ácido cianhídrico, compuesto de máxima toxicidad para el ser humano.

Metales y Metaloides⁸

Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Plomo (Pb). Como constituyentes importantes de muchas aguas, cualquier catión que tenga un peso atómico superior a 23 g/mol (que corresponde al peso atómico del sodio) se considera un metal pesado; así, las aguas residuales contienen gran número de metales pesados diferentes. Entre ellos se puede destacar níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, entre otros. Todos ellos se encuentran catalogados como sustancias contaminantes y debido a su naturaleza tóxica deben tenerse obligatoriamente en consideración porque causan impacto

⁷ CORPOCALDAS [base de datos en línea] (septiembre –octubre 2017).[citado el 26 de octubre de 2017] disponible en < [http://www. Corpocaldas.gov.co](http://www.Corpocaldas.gov.co)>

⁸ UNIVESRIDAD LEON [base de datos en línea] (septiembre –octubre 2017).[citado el 26 de octubre de 2017] disponible en < <http://www. www.unileon.es> >

negativo sobre los tratamientos biológicos convencionales, así como sobre los ecosistemas receptores.

Otros Parámetros para Análisis y Reporte

Acidez Total mg/L. se refiere a la presencia de sustancias dissociables en agua y que como producto de disociación generan el ión hidronio (H_3O^+), como son los ácidos fuertes, ácidos débiles y de fuerza media; también la presencia de ciertos cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III) contribuyen a la acidez del medio.

Alcalinidad Total. capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua.

Dureza Total (mg/L). Indica la cantidad total de iones alcalinotérreos (grupo 2) presentes en el agua y constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial. involucra a todos los iones metálicos Polivalentes que puedan encontrarse presentes en la muestra.

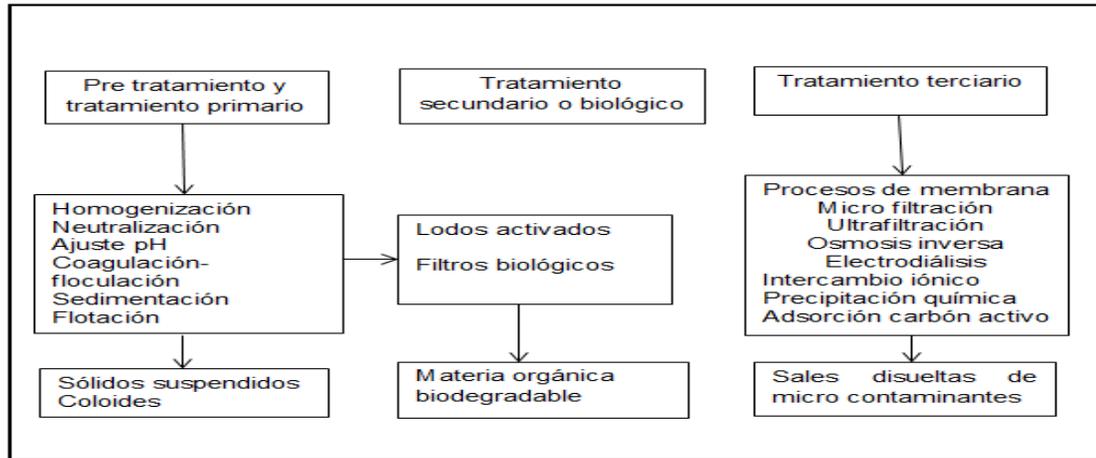
Dureza Cálcica (Ca^{2+} y Mg^{2+}). cuantifica solo la dureza por efecto del ión Calcio.

Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm). El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color real se considera como el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad

1.2.3 Tratamiento de las aguas residuales. Los tratamientos para clarificación de aguas residuales tiene como objeto mitigar y disminuir el nivel de contaminación, para obtener un efluente que no genere impactos ambientales negativos, cumpliendo con la normatividad ambiental vigente. Los tratamientos tradicionales son los mecánicos o también llamados físicoquímicos, que son el conjunto de tratamientos preliminares, primarios y terciarios.

En la elección de tratamientos de aguas residuales existen varias clases de referentes que determinan los procesos con mayor efectividad en los diferentes tipos de industria. La figura 3 representa los tratamientos de aguas residuales divididos en tres grandes grupos.

Figura 3. Tratamiento de aguas residuales



Fuente: Daniel Camilo Fajardo, Diana Marcela Guio. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para Preflex s.a. Autores. Pág. 20. Fundación Universidad de América. Bogotá-Colombia. Año 2006.

En la figura 4 se especifican algunos contaminantes del agua en diferentes categorías según su naturaleza, y posteriormente el uso de distintas tecnologías para todas las clases de contaminantes descritas.

Figura 4. Contaminantes más comunes en aguas residuales

Clase	Ejemplos
Sólidos suspendidos	Barro, suciedad, sedimentos, polvo, óxidos metálicos insolubles e
Compuestos Orgánicos	Compuestos orgánicos sintéticos, trihalometanos, ácidos húmicos
Compuestos iónicos	Metales pesados, sílice, arsénico, nitratos, cloruros, carbonatos.
Microorganismos	Bacterias, virus, quistes de protozoarios, hongos, algas
Gases	Sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono, metano y radón.

A continuación se muestra los tratamientos específicos más empleados para los anteriores contaminantes

Figura 5. Clases de contaminantes

Tratamiento	Clases de contaminantes				
	Sólidos suspendidos	Compuestos Orgánicos	Compuestos iónicos	Microorganismos	Gases
Filtro Lecho	Muy efectivo	NA	NA	NA	NA
Filtración cartucho	Muy efectivo	NA	NA	NA	NA
Bolsa de filtración	Muy efectivo	NA	NA	NA	NA
Filtración por arrastre	Muy efectivo	Parcialmente efectivo	NA	NA	NA
Carbón activado	NR	Muy efectivo	NA	NA	Parcialmente efectivo
Micro-filtración	Muy efectivo	NA	NA	Parcialmente efectivo	NA
Ultra-filtración	NR	Muy efectivo	NA	Efectivo	NA
Nano-filtración	NR	Muy efectivo	Efectivo	Muy efectivo	NA
Osmosis Inversa	NR	Muy efectivo	Muy efectivo	Muy efectivo	NA
Destilación	NR	Parcialmente	Muy efectivo	Muy efectivo	NA
Electrodialisis	NA	NA	Efectivo	NA	NA
Electrodesionización	NA	NR	Efectivo	NR	NA
Intercambio iónico	NR	NA	Muy efectivo	NA	NA
Ozonización	NA	Parcialmente	Parcialmente	Muy efectivo	NA
Cloro	NA	NA	NA	Efectivo	NA
Radiación UV	NA	Parcialmente	NA	Efectivo	NA

Fuente: Facts At Your Fingertips. Water Treatment Technologies. Scott Jenkins.

Tratamientos preliminares.⁹ Remueven todo aquello que constituye un agua residual que causa problemas de operación o de mantenimiento.

- **Rejillas:** Con éstas se retiene todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, etc. Se utilizan solamente en los desbastes previos, y sirven para que los desechos no dañen las maquinas.
- **Tamizado:** En este tratamiento se utilizan equipos para retener sólidos gruesos presentes en el agua residual, estos pueden ser de barras o varillas paralelas.
- **Flotación:** Tratamiento mediante el cual se separan sólidos de baja densidad.
- **Homogenización de efluentes:** El mezclado de los todos los caudales de distintos efluentes generados en el proceso primario, con este proceso se logra hacer una igualación de caudales y concentraciones.

⁹ UNIVESRIDAD EIA [base de datos en línea] (noviembre –diciembre2017).[citado el 23 de noviembre de 2017] disponible en <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos >

La trazabilidad del agua residual mejora, mantiene el pH, minimiza los requerimientos de área y las cargas para un tratamiento posterior, se hace más fácil la dosificación de los reactivos y rendimiento de los diferentes procesos.

Tratamientos primarios.¹⁰ Remueve internamente sólidos suspendidos y materia orgánica, en general es llevado a cabo mediante la adición de químicos como floculantes o coagulantes.

- **Coagulación:** Este proceso consiste en la adición de uno o varios coagulantes para la remoción de varios contaminantes y por el desarrollo de ciertas reacciones químicas y físicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. Consiste en la desestabilización de las partículas coloidales que puede conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. Un coagulante es el producto utilizado para dicha neutralización. Entre los principales factores que influyen en la coagulación están: tipo de coagulante, dosis de coagulante, pH, ayudantes de coagulación, turbiedad, presencia de aniones, gradiente de velocidad, tiempo de mezcla, temperatura, concentración de la solución coagulante, entre otros.
- **Floculación:** En este tratamiento generalmente primario se desestabilizan las partículas y chocan unas con otras construyendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos los cuales sedimentan por gravedad. La floculación se lleva a cabo a bajas velocidades y puede usar la adición de químicos para ayudar con el proceso.
- **Sedimentación:** Se elimina materia en suspensión que lleve el agua residual, eliminación de flocos precipitados en el proceso de coagulación, floculación o separación de contaminantes en un tratamiento de decantación química.
- **Tratamientos secundarios.**¹¹ Estos tratamientos biológicos depuran la materia orgánica biodegradable del agua residual por efecto de microorganismos, que se mantienen en la superficie del agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.
- **Tratamientos aerobios:** Los tratamientos con aireación son utilizados para descomponer materia orgánica por acción de los microorganismos y el oxígeno presente en el aire convirtiéndose en dióxido de carbono y en especies minerales.

¹⁰ MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (Aianza por el agua) monográficos agua en centroamérica. PDF Pág 23

¹¹ Tratamiento biológico de aguas residuales (Revista Tecnología del Agua, Marzo de 2000)

- **Tratamientos anaerobios:** Los tratamientos en ausencia de aire descomponen la materia orgánica por bacterias, acá se deben utilizar reactores cerrados; en un proceso hermetico, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano..
- **Tratamientos mixtos:** Son la mezcla de tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma seguida, alternante o ambos a la vez.
- **Tratamientos facultativos:** Estos tratamientos biológicos utilizan organismos denominados facultativos y no les afecta la presencia de oxígeno en el proceso.

Tratamientos terciarios.¹² Los tratamientos terciarios (conocidos también como tratamientos avanzados, más rigurosos, complementarios, etc.) permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados.

La eliminación de materia particulada y coloidal presente en los efluentes depurados, puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos (coagulación-floculación) y la posterior etapa de separación (decantación, filtración).

Para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos. No obstante, el caso del de fósforo, los procesos de precipitación química, empleado sales de hierro y de aluminio, continúan siendo los de mayor aplicación.

Para eliminar nitrógeno se utiliza secuencialmente el proceso, bajo condiciones óxicas y anóxicas, que dan como resultado su liberación al ambiente, en forma de N₂.

Y para eliminar el fósforo se mezclan equipos de reactores trabajando bajo condiciones anaerobias, óxicas y anóxicas, quedando el fósforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso.

Combinando los anteriores tratamientos es posible la eliminación conjunta de ambos nutrientes.

Con relación a la desinfección de los efluentes depurados, si bien el cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante típico en el campo de las aguas residuales, al incrementarse el número de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de dechloración,

¹² MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (Aianza por el agua) monográficos agua en centroamérica. PDF Pág 28

o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos,tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el empleo de membranas.

2. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN

En el presente capítulo se construye un punto de partida y una descripción de las condiciones actuales de las aguas residuales generadas por los procedimientos

asistenciales y protocolos de limpieza y desinfección del Hospital Departamental Universitario San Juan de Dios.

A continuación se especifican los protocolos de limpieza y desinfección y especificaciones de servicios domésticos.

2.1 PROTOCOLOS DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN

Estos procedimientos buscan verificar y evaluar el manejo del hipoclorito, como agente desinfectante de áreas, superficies, ropa hospitalaria, descontaminación derrames de fluidos corporales, en los prestadores de servicio de salud, enfocado principalmente hacia la prevención de las infecciones adquiridas en la atención en salud (IAAS).

2.1.1 Insumos desinfectantes y detergentes.

- **Desinfectantes.** La E.S.E Hospital utiliza como desinfectante general para sus áreas críticas, semicríticas y no críticas, el hipoclorito de sodio, debido a su amplio espectro de actividad antimicrobiana, su costo beneficio, además de su alta remoción de microorganismos fijados en las superficies hospitalarias, con una incidencia de baja toxicidad. Sin embargo es importante reconocer que este producto presenta desventajas tales como su alto grado de corrosión en contacto con materiales metálicos, en altas concentraciones (>500ppm), su inactivación por la materia orgánica, generación de gases tóxicos cuando reacciona con productos amoniacales o ácidos (presentes en otros agentes de limpieza).

El hipoclorito de sodio es un agente oxidante de enzimas que realiza la cloración de anillos de aminoácidos generando la pérdida de contenido intracelular, disminuye el suministro de nutrientes de bacterias, inhibe la síntesis de proteínas, reducción del suministro de oxígeno, disminución de producción de adenosintrifosfato, y ruptura de ADN. Su actividad antimicrobiana es bactericida, fungicida, esporicida, tuberculocida y virucida.

Para la preparación de las diluciones del hipoclorito de sodio se requiere uso de agua destilada o desionizada debido a que el contenido orgánico y mineral del agua, puede alterar componente activo del hipoclorito, no garantizando su efectividad microbiana. El agua no debe contener hierro, níquel, cobalto, cobre, manganeso, mercurio, aluminio, plomo zinc, estaño, bario, debido a que su presencia causa una degradación rápida del hipoclorito de sodio.

Las soluciones de Hipoclorito de sodio al 13 % se prepararán de la siguiente manera:

Tabla 3. Forma y uso del Hipoclorito 13%

CONC. NaClO PPM	VOL. DE AGUA CC	VOL. DE NaClO CC
-----------------	-----------------	------------------

10.000	923	77
5.000	962	38
2.500	981	19
2.000	985	15

- **Detergentes.** Los detergentes son productos jabonosos que sirven para limpiar y tienen una estructura química dividida en dos efectos: el primero humectante hace que el agua se ponga en contacto con la superficie y la película de suciedad se desprende mediante el fregado o cepillado. El segundo emulsionante hace que el detergente rodee la partícula de suciedad (absorción) y la emulsione, manteniéndola suspendida y permitiendo que sea arrastrada por el enjuague sin que se sedimente.¹³

El uso general de detergente, para los procedimientos de limpieza en las diferentes áreas de la E.S.E Hospital, se realiza utilizando dilución de 15 gramos de detergente en polvo en 3 litros de agua, utilizando las metodologías de la cartilla INVIMA dependiendo la clasificación de las áreas.

2.2 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico del hospital es realizado teniendo en cuenta el consumo total de agua mensual, el consumo por cama ocupada y los caudales de vertimiento promedio del último monitoreo realizado (Agosto 2017).

La realización de este balance permite analizar la dimensión de la planta, realizar la planeación del sistema de aguas residuales del hospital y su posterior implementación.

El consumo total del Hospital se registra únicamente en 2 medidores en la entrada al tanque principal y Consulta externa. Así que determinar el consumo por separado en algunas áreas en particular, no es posible. El consumo mensual general se muestra en la tabla 5. Estos datos son obtenidos de los registros del acueducto encargado de el suministro de agua al hospital desde Agosto del 2016 hasta Agosto de 2017.

Lo ideal sería tener el consumo registrado por servicios para conocer detalladamente cuáles son las zonas críticas; aquellas que consumen en grandes cantidades. Así, sería posible establecer medidas de ahorro y donde sea posible, disminuir el consumo. Ahora bien, de acuerdo con la información proporcionada por la Coordinación de Enfermería, el total de camas en el Hospital es de 305, de donde se puede establecer el consumo diario por cama, el cual se registró en: 508 lt/cama/día¹⁴.

¹³ METROSALUD [base de datos en línea] (noviembre –diciembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.metrosalud.gov.co >

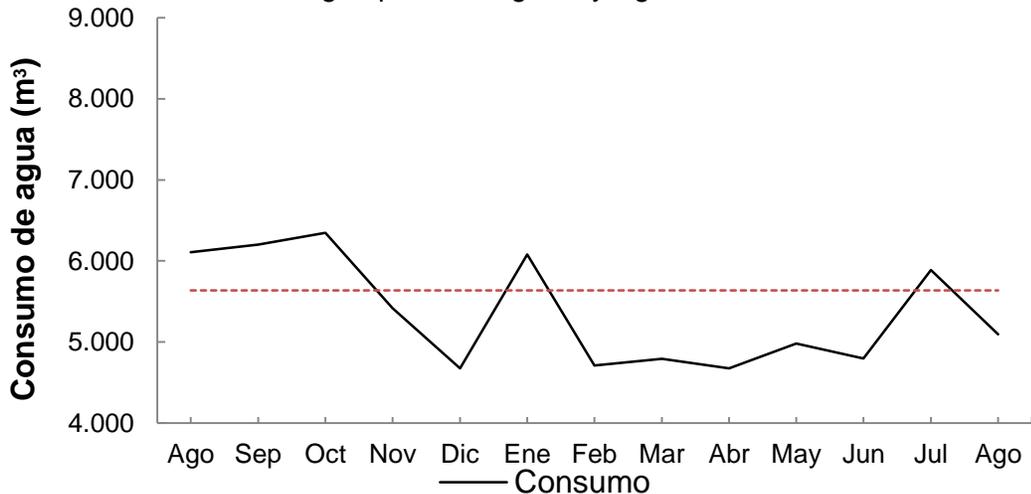
¹⁴ Esto corresponde a dotación, el 80% de esta cantidad se convierte en agua residual.

Tabla 4. Registro de consumo e indice cama/día del hospital

Mes	Lt/Cama/día	Consumo (m ³)
2016		
Agosto	7854	6107
Septiembre	7885	6204
Octubre	8302	6348
Noviembre	7992	5417
Diciembre	7532	4673
2017		
Enero	8732	6082
Febrero	7735	4710
Marzo	7936	4794
Abril	9177	4674
Mayo	7529	4983
Junio	7935	4798
Julio	7936	5889
Agosto	7977	5096
PROM	8040	5367

También se debe tener en cuenta que el consumo va directamente relacionado a muchas variables en sus procesos asistenciales como el número de egresos, camas ocupadas y remisiones.

Gráfica 1. Consumo de agua por mes Ago/16 y Ago/17

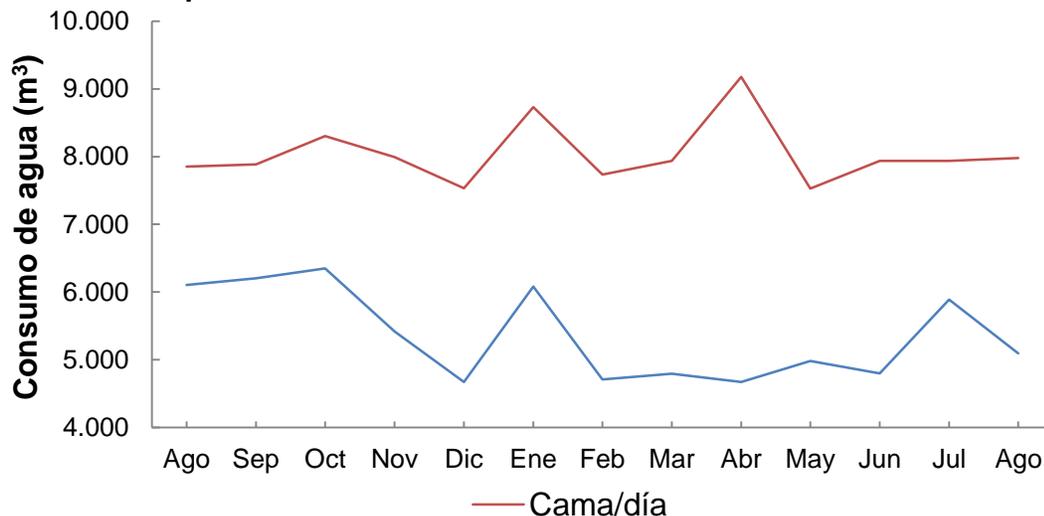


En la gráfica 1 se evidencia el descenso en el consumo de agua a comienzos del año 2017 en el mes de Febrero, mes en el que se retiraron los departamentos de alimentación y lavandería y ahora se subcontratan externamente. Adicional a esto,

se implementan políticas y programas medio ambientales para disminuir el consumo de agua en el hospital.

A continuación se evidencia en la gráfica 2 la dependencia del consumo mensual del agua en Litros con respecto al número de personas por cama ocupada en el día (cama/día). También este comportamiento esta sujeto a los egresos y volumen de pacientes de consulta externa.

Gráfica 2. Dependencia del índice cama/día con el consumo



El indicador cama-día es la hospitalización de una persona, ocupando una cama del hospital, durante el período comprendido entre las 0 horas y las 24 horas de un mismo día.

Tabla 5. Vertimiento por punto de monitoreo del Hospital

Puntos de monitoreo	Monitoreo Agosto/2014 ¹⁵		Monitoreo Dic/2016 ¹⁶		Monitoreo Agosto/2017 ¹⁷	
	Caudal (L/s)	%	Caudal (L/s)	%	Caudal (L/s)	%
1 Lavandería	0,61	17,84	0,22	6,34	0,06	1,95
2 Purga caldera	0,45	13,16	0,84	24,22	0,39	11,13
Entrada	0,7	20,47	0,34	9,8	0,68	19,46
3 Trampa Grasas						
Salida. Trampa	0,7	20,47	0,34	9,8	0,68	19,46
4 Urgencias 1	0,45	13,16	0,05	1,44	0,17	4,89
5 Urgencias 2	0,34	9,94	0,003	0,08	0,01	0,46
6 Locales	0,08	2,34	0,014	0,4	0,1	2,93

¹⁵ Empresa multipropósito de Calarcá

¹⁶ Laboratorio LAIMAQ informe Aguas Residuales 2016

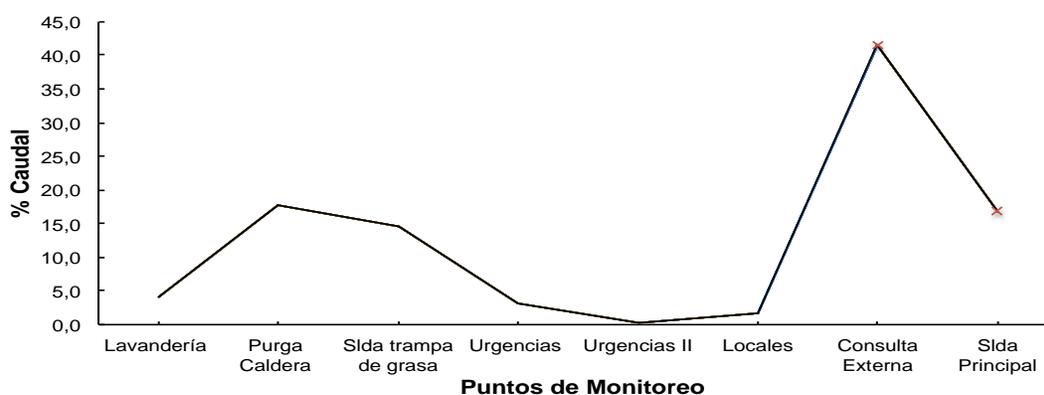
¹⁷ Laboratorio ANTEK informe Aguas Residuales 2017

7	Consulta externa	0,08	2,57	1,62	46,72	1,28	36,49
8	Salida Principal	0	0	0,38	10,96	0,79	22,65

La variación entre los años de 2014, 2016 y 2017 se ve reflejada a causa de los cambios estructurales que se han realizado desde el año 2016, la redistribución de departamentos, el retiro de los departamentos de Alimentación y lavandería y de políticas medio ambientales implementadas por el sistema de gestión.

En la gráfica 3 se relacionan los caudales de vertimiento de la tabla 6, en los puntos de monitoreo asignados por la EPA, marcando el caudal que representan la totalidad del vertimiento al alcantarillado.

Gráfica 3. Porcentaje del caudal por punto de monitoreo



Para el balance hídrico se van promediar los datos de los caudales de vertimiento del año 2016 y 2017, donde no han existido cambios estructurales mayores y los departamentos han permanecido intactos, adicional a esto se van a tener en cuenta solo 1 punto de vertimiento (Consulta externa), en el cual se identifica el acopio de todos los vertimientos del hospital.

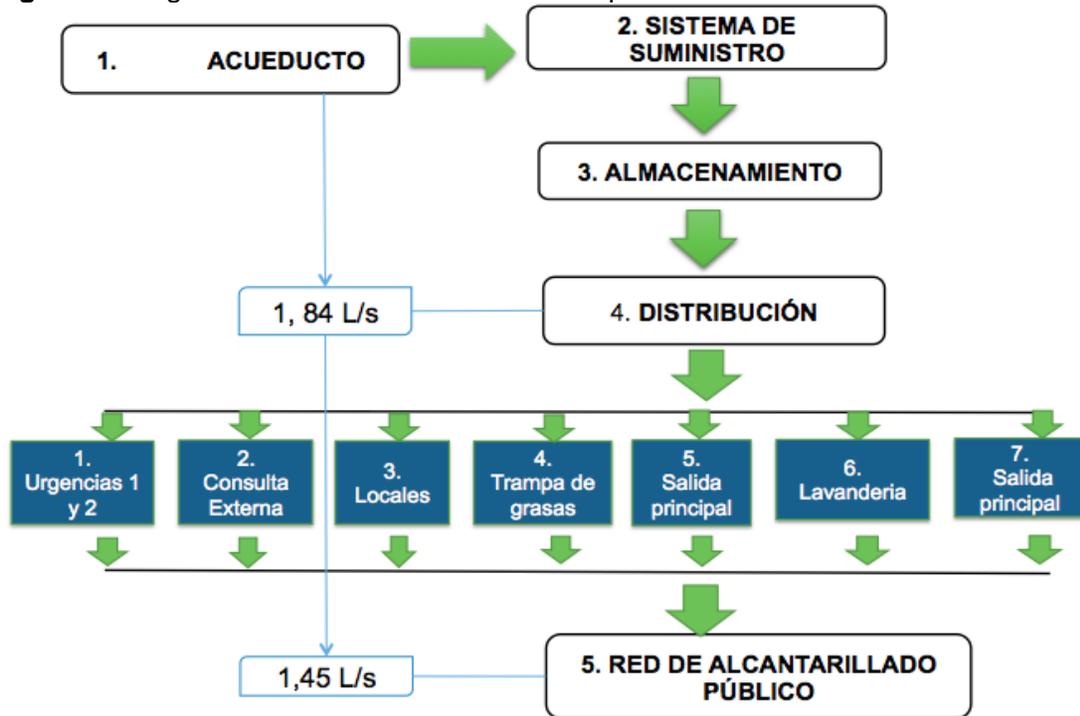
Tabla 6. Caudales de consumo y vertimiento del años 2016 y 2017

	Consumo (L/s)	vertimiento (L/s)	Porcentaje Vertido (%)	Cama/día
2016	2,01	1,62	80,60	274
2017	1,67	1,28	76,65	305
PROM	1,84	1,45	78,80	289

El caudal promedio del año 2016-2017 fue de 1,84 L/s con un promedio de camas de 289 y un vertimiento promedio de 1.45L/s, reflejando un porcentaje del 78,8% de aguas vertidas con respecto al consumo.

Estos datos son estadísticos y no reflejan con seguridad el caudal exacto de vertimiento ni tampoco la proyección a mediano plazo del hospital, por lo tanto se tomará el valor máximo de caudal para el diseño del sistema.

Figura 6. Diagrama del balance hídrico del Hospital



2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

La caracterización se presenta basada en los resultados obtenidos del monitoreo ambiental efectuado en el mes de agosto para el análisis de la calidad de las aguas residuales, el cual se llevó a cabo en el área de influencia del Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios; en jurisdicción del municipio de Armenia, departamento del Quindío.

Los resultados obtenidos son comparados con la Resolución 0631 de 2015, establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, aplicando los siguientes artículos:

- Capítulo VI, Artículo 14 Vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD de actividades asociadas con servicios y otras actividades (Actividades de atención a la salud humana – atención médica con y sin interacción).
- Capítulo VIII, Artículo 16 Vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD al alcantarillado público.

Para el análisis de laboratorio fueron tenidas en cuenta las metodologías definidas en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 22nd edición, 2012 y en el “U.S. EPA”, además, se utilizó un programa de aseguramiento de la calidad en el análisis realizado para correlacionar las condiciones del entorno con el comportamiento del vertimiento en un momento dado, curvas de calibración y certificados de calibración de equipos del laboratorio.

2.3.1 Desarrollo experimental. El desarrollo experimental parte de la instrumentación analítica (Equipos y materiales) utilizados en los diferentes análisis que se relacionan a continuación.

Equipos de laboratorio.

(Fisicoquímico)

Espectrómetro Infrarrojo Buck 400 para determinación de grasas y aceites e hidrocarburos.

Espectrofotómetro Ultravioleta/Visible Philips Unicam UV-

Espectrofotómetro Unicam, Thermo Scientific Evolution 201 y Evolution 300.

Espectrofotómetro portátil HACH.

Balanza analítica Mettler Toledo.

Destilador de Nitrógeno Selecta.

Rotavaporador Heidolph V-60.

Bombas de vacío.

Buretas Digitales Brand.

Conductímetro Hach.

pHmetro Oakton.

Campana de Extracciones Fisher HAMILTON.

Incubadora Metrix.

Oxímetro Hach.

Termo reactor Hach.

Mufla Vulcan.

Titulador Automático Metrohm.

Turbidímetro Hach.

Incubadoras.

Neveras de muestras

(Absorción Atómica)

UNICAM 969, para determinación de aluminio, sodio y potasio entre otros.

Horno de grafito, para determinación de arsénico y selenio entre otros.

ICP, para determinación de hierro y calcio entre otros.

AANALYST 800.

DMA 80. Analizador directo para determinación de mercurio.

Aseguramiento de la calidad. ANTEK S.A.S. es un laboratorio acreditado bajo la norma ISO 17025 por parte del IDEAM, institución gubernamental encargada de esta tarea. Dentro de este contexto el laboratorio debe cumplir con rígidos y continuos estándares y controles de calidad, que aseguran la confiabilidad de los resultados obtenidos; lo que implica que las muestras que ingresan al laboratorio, deben pasar por una serie de procedimientos y acciones que se ejecutan paralelamente al análisis.

Dentro de estas acciones se encuentran las siguientes:

- Definición de estándares y muestras para el control de la calidad.
- Uso regular de materiales de referencia (estándares y reactivos) certificados o secundarios.
- Uso de patrones de referencia calibrados (masas) para la verificación de balanzas.
- Uso de métodos de ensayo validados y/o de referencia.
- Verificación de calibración de los equipos usados en laboratorio.
- Análisis de blancos.
- Análisis de duplicados.
- Análisis de muestras con adiciones conocidas.
- Aplicación de técnicas estadísticas para analizar el comportamiento de las principales variables (precisión, exactitud, sesgo) que evidencian la validez de los procesos analíticos.
- Suspensión y revisión de los procesos si las técnicas estadísticas evidencian tendencias o sesgo.
- Revisión de los registros, verificación de cálculos y de transferencia de datos obtenidos en los ensayos.
- Registro e interpretación de cartas de control.
- Aplicación de los principios de buenas prácticas de laboratorio en la ejecución de los ensayos.
- Repetición de análisis con diferentes métodos (en caso de que un parámetro tenga dos métodos de análisis diferentes).

Los factores enumerados anteriormente, sumados a la aplicación de las técnicas y los métodos analíticos garantizan la confiabilidad de los resultados reportados por ANTEK S.A.S. Los análisis de laboratorio, se aplican de acuerdo a los métodos normalizados por la AWWA y APHA a través del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y de acuerdo a métodos normalizados por la EPA.

Preservación, envasado y análisis de muestras. En la tabla 10 se relacionan los parámetros analíticos muestreados con el volumen requerido para su análisis, el tipo de recipientes en el que se debe realizar el envasado, con su correspondiente preservación, de acuerdo con el "Standard Methods for the Examination of Water

and Wastewater. 22nd Edition. 2012”.

2.3.2 Tipo y características del monitoreo. La metodología de recolección y toma de las muestras, tipo de muestra, registros de campo, cadenas de custodia, análisis “in-situ”, preservación, almacenamiento, envío de las muestras y demás procedimientos de garantía y control de calidad en el trabajo de campo y de laboratorio, se realizó como fue previamente establecido con el Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios, quien a su vez obedece a las indicaciones de la EPA (Empresas Públicas de Armenia) para la selección de puntos de muestreo y tipo de monitoreos requeridos.

Adicionalmente el laboratorio ambiental encargado del monitoreo Antek S.A.S. sigue los lineamientos y técnicas recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - U.S. EPA - en su Handbook for Analytical Quality Control in Water and Wastewater Laboratories, y por la Asociación Americana de trabajos del Agua - AWWA - en el American Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 22nd Edition.

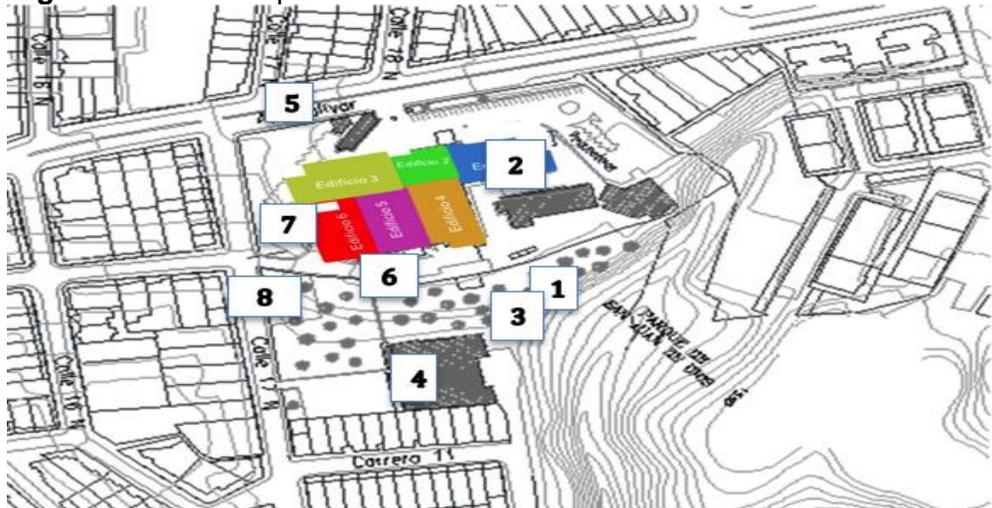
El monitoreo se ejecuta entre los días 11 y 12 de Agosto de 2017, en los puntos designados por la EPA para los permisos de vertimiento de la ESE, donde el objeto es recoger una porción representativa del agua residual a tratar.

Para obtener una porción representativa se realizaron ocho (8) muestras compuestas, contituidas por las mezcla de veinticuatro alicuotas recolectadas cada 60 minutos las cuales se refrigeraron con el fin de evitar su alteración hasta terminar la composición de la jornada; dicha composición se efectua recolectando volúmenes proporcionales al caudal de vertimiento. La porción obtenida fue envasada en los respectivos recipientes debidamente rotulados y preservados, posteriormente se transportó al laboratorio para realizar los análisis de interés. Se monitorearon las características del vertimiento determinando los parámetros in situ pH, temperatura, sólidos sedimentables y caudal.

Selección y descripción de los puntos de Muestreo. En las siguientes tablas se presentan los puntos de muestreo seleccionados y acordados por el Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios, los cuales fueron reconocidos y evaluados previamente por el laboratorio ambiental para la realización del monitoreo.

A continuación se realizó un bosquejo de la ubicación de los 8 puntos de monitoreo, ubicados alrededor del hospital en cajas de inspección.

Figura 7. Ubicación puntos de monitoreo



Puntos de monitoreo:

1. Purga de caldera
2. Lavandera
3. Trampa de grasas
4. Urgencias 1
5. Urgencias 2
6. Descarga Locales
7. Salida principal
8. Consulta externa

- **Punto Purga de Caldera.** La caldera genera vapor para diversos procesos en el Hospital tales como la Lavandería (anteriormente), la Central de esterilización y el calentamiento de agua para el baño de pacientes.

Todas las calderas de vapor incorporan una salida en el punto más bajo para eliminar periódicamente los sólidos precipitados, conocida como purga, para este procedimiento se requiere una descarga breve y súbita de eliminación eficiente, que se consigue abriendo una válvula de gran paso que elimina grandes cantidades de agua de caldera. Estas descargas se hacen 5 veces durante el día desde las 7:00 am cada 2 horas hasta las 5 pm.

Este punto está ubicado en el área de mantenimiento cerca a la caldera y su agua se caracteriza por tener temperaturas elevadas y gran contenido de sólidos, resultados del procedimiento anteriormente descrito para la limpieza o purga de la caldera.

Figura 8. Punto de monitoreo "purga de caldera"



- **Punto Lavandería.** Este punto de monitoreo esta ubicado en la parte interna del hospital, exactamente la caja de inspección de concreto se encuentra a la salida de la antigua lavandería, donde ahora solo se almacena la ropa y se hacen descargas de los calderines de esterilización y algunos baños de la zona del edificio antiguo del hospital. Se observan descargas bajas intermitentes, con temperaturas elevadas, poca turbidez y sin olor aparente ni iridiscencia.

Figura 9.Punto de monitoreo "Lavandería"



- **Punto Trampa de grasas.** El punto de monitoreo "trampa de grasas" es la salida del sistema de pretratamiento trampa de grasas donde se **pretende** separar sólidos y grasas del agua. Este punto tiene limpieza y mantenimiento cada mes y funciona con rebose.

Este punto es el único que posee un sistema de depuración en el hospital y se encuentra al interior del hospital en el área de mantenimiento.

Figura 10. Punto de monitoreo "trampa de grasas"



- **Punto Urgencias 1 y 2.** En estos dos puntos se encuentran varias aguas residuales domesticas de los servicios de hospitalización del edificio Nuevo del hospital incluyendo urgencias.

Ambos puntos se encuentran ubicados en la entrada de urgencias, manejan caudales similares con descargas intermitentes y aguas con sólidos, olor y turbiedad.

Figura 11. Puntos de monitoreo "Urgencias 1 y 2"



- **Punto Descarga Locales.** Este punto recibe las aguas de 4 locales comerciales entre ellos una miscelánea, un restaurante, una cafetería y una droguería. El restaurante y la cafetería venden almuerzos al público y los otros de igual forma tienen cocinas y baños; por consiguiente se espera que grasas y aceites se encuentren, las descargas son bajas e intermitentes.

Figura 12. Punto de monitoreo "Descarga Locales"



- **Salida Principal.** Es uno de los puntos que mayor caudal presenta, siendo este constante las 24 horas y recibiendo todas las aguas de procesos asistenciales y administrativos del hospital, exceptuando la parte de consulta externa.

Figura 9. Punto de monitoreo "Salida principal"



- **Consulta externa.** En este punto se reciben todas las actividades de servicios ambulatorios (atenciones médicas para diferentes tipos de diagnósticos) que presta la dependencia de consulta externa, junto con una aparte de descargas de servicios asistenciales del area de hospitalización (trampa de grasas).

Disminuye su caudal en las noches debido a que las actividades de consulta externa tienen un horario de 7:00 am a 6:00 pm.

Figura 13. Consulta externa



2.3.3 Determinación de alícuotas. Las muestras proporcionalmente representativas es la muestra individual expresada en unidades de volumen que formará parte de la muestra compuesta. El cálculo de las se realizó así:

Cada sesenta (60) minutos se estima el caudal y se recolecta aproximadamente 2 L de muestra¹⁸. Luego de terminar el periodo de muestreo, se calcula el total de todos los caudales.

Teniendo en cuenta los parámetros a analizar en laboratorio, se determinó el volumen de muestra mínimo necesario de 9L por punto de monitoreo.

El caudal se calculó así:

Ecuación A. Cálculo de caudal

$$Q = V/t$$

Dónde:

Q= Caudal en litros por segundo (L/s)

V= Volumen en litros (L)

T=Tiempo en segundos (s)

Una vez determinados los caudales de cada muestra, se estimaron las alícuotas, para calcular el volumen de composición con la siguiente ecuación:

Ecuación B. Cálculo de Alícuota¹⁹

$$V_i = V \frac{V}{\sum_i^n Q_i}$$

¹⁸ Este volumen depende de la cantidad de agua para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

¹⁹ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. Pág 102.

Dónde:

V_i : Volumen de cada alícuota (mL)

V = Volumen total a componer (mL)

Q_i = Caudal de cada muestra individual (L/s)

Σ = Sumatoria de caudales (L/s)

2.4 ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el ANEXO D se presentan los reportes de resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras analizadas y en el ANEXO J se presenta el certificado de acreditación del laboratorio para la producción de información cuantitativa, física y química, para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales.

El monitoreo compuesto fue ejecutado los días 11 y 12 de Agosto de 2017 en los puntos denominados:

1. Lavandería
2. Purga Caldera
3. Trampa de Grasas
4. Urgencias 1
5. Urgencias 2
6. Descarga Locales
7. Salida Principal
8. Consulta Externa

Tomando alícuotas cada hora (60 minutos) durante veinticuatro horas (24) horas, salvo para el punto "Purga Caldera", debido a que esta solo se realiza 5 descargas al día y estas fueron muestreadas.

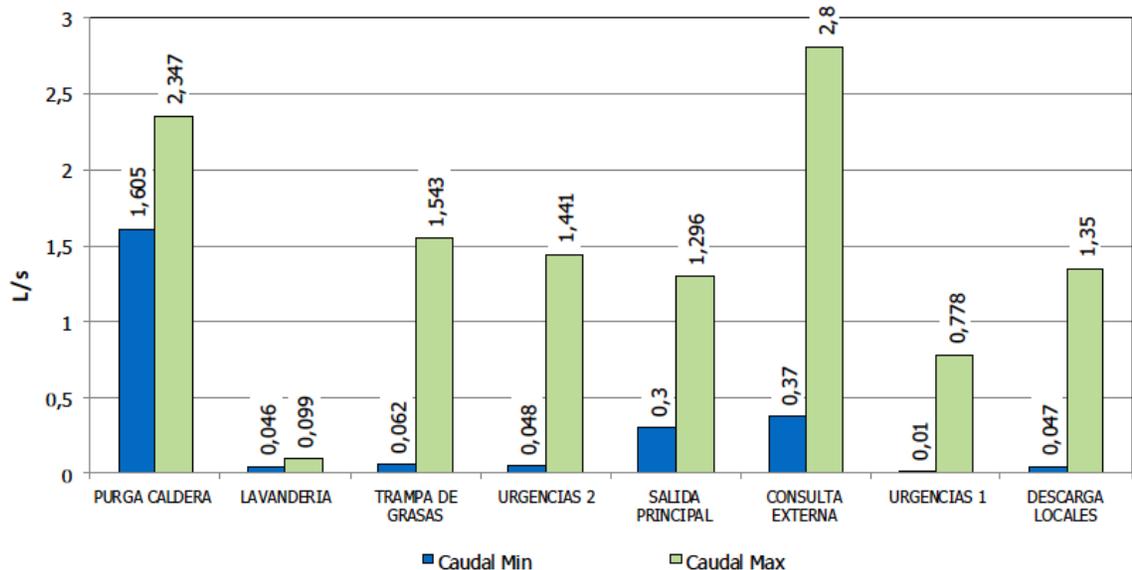
Los puntos de monitoreo fueron descritos con detalles y registro fotográfico en el numeral 2.3.2.1 del presente capítulo.

Para los puntos objeto de estudio del presente literal que descargan su efluente en el alcantarillado del municipio, corresponde el análisis del cumplimiento normativo que evalúa el resultado de los parámetros analizados con respecto al Capítulo VIII, Artículo 16 – Vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD al alcantarillado público (Ver Tabla).

2.4.1 Comportamiento de Caudales en función del tiempo. En la gráfica 4 se aprecia el comportamiento que presentaron los caudales para los 8 puntos de monitoreo. Teniendo así un caudal máximo de 2,8 L/s en Consulta externa y un mínimo de 0,01 L/s en Urgencias 1.

Las descargas son intermitentes en todos los puntos de monitoreo menos en los puntos “Salida principal y consulta externa”. El punto de Salida principal es el acopio de todas las vertimientos del hospital menos de consulta externa, que no es tenida en cuenta en el desarrollo de este trabajo debido a que cumple con la normatividad y no justifica agregar un agua medianamente contaminada a otra con alta contaminación para luego ser tratada.

Gráfica 4. Comportamiento Max /Min Caudales- Aguas Residuales



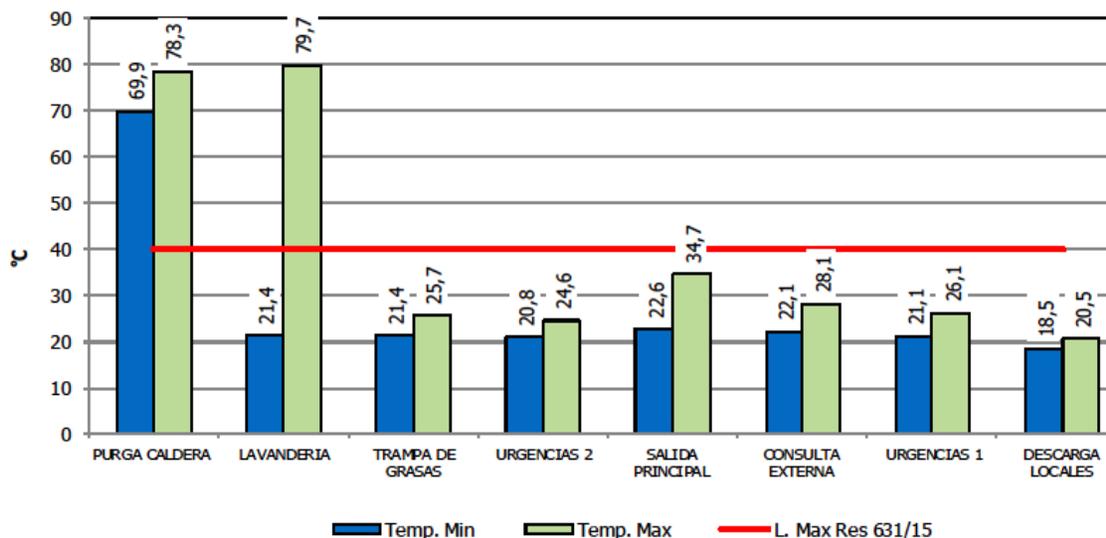
FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

2.4.2 Comportamiento de Temperaturas en función del tiempo. A continuación en la gráfica 5 se representa el comportamiento de las Temperaturas presentadas para cada uno de los 8 puntos monitoreados, evidenciando para los puntos “purga Caldera” y “Lavandería” datos superiores a los 40°C, siendo comportamientos normales debido a la actividad que se manejan y el servicio que prestan.

Las magnitudes oscilan a nivel general entre 18,5°C (Descarga Locales) y 79,7°C (Lavandería).

Las temperaturas registradas en las alícuotas tomadas en los puntos Trampa de Grasas, Urgencias 2, Salida Principal, Consulta Externa, Urgencia 1 y Descarga Locales se encuentran por debajo de los 40 °C, por lo tanto se puede señalar que se presenta cumplimiento normativo, sin embargo los puntos Purga Caldera y Lavandería evidencia sobrepaso del límite máximo.

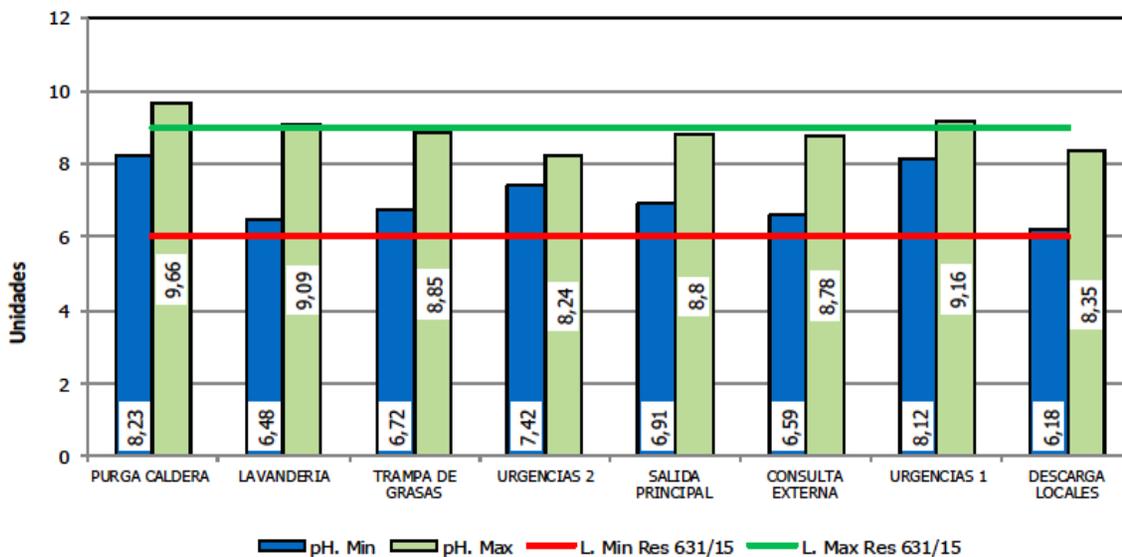
Gráfica 5. Comportamiento Temperatura Max/Min Aguas- Residuales



FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

2.4.3 Comportamiento del pH en función del tiempo. A continuación en la gráfica 6 se presenta el comportamiento para el parámetro del pH en cada uno de los 8 puntos monitoreados durante las 24 horas y establecidos por el Hospital Universitario del Quindío.

Gráfica 6. Comportamiento promedio pH - Aguas Residuales



FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

El pH registrado en los 8 puntos de monitoreo se evidencia un comportamiento generalmente alcalino, observando para el punto “purga de caldera”, que en 3 de las 5 alícuotas monitoreadas se presenta un sobrepaso del límite máximo establecido en 9 unidades, en cuanto al punto “Lavandería” presenta únicamente

para la alícuota 13 el incumplimiento del rango establecido en la normatividad, el punto 7 igualmente presenta un sobrepaso en 3 de las 24 alícuotas, mientras que para los puntos restantes monitoreados presentan para sus 24 alícuotas un cumplimiento satisfactorio del rango establecido en la Resolución.

2.4.4 Comportamiento de Sólidos Sedimentables en función del tiempo. Se aprecia el comportamiento que presentó los Sólidos Sedimentables durante las cinco alícuotas de monitoreo en el punto “Purga Caldera”, obteniendo datos que oscilaron entre 0,1 mL-L/h (alícuotas 02 y 05) y 0,2 mL-L/h (alícuotas 01, 03 y 04), cumpliendo con lo establecido en la norma.

Por su parte el punto “lavandería”, durante las 24 horas de monitoreo se registraron datos para todos los casos de <0,1 mL-L/h, cumpliendo con el máximo establecido en la Resolución.

En cuanto a la Trampa de Grasas, se reportaron Sólidos Sedimentables que oscilaron entre 0,1 mL-L/h (alícuotas 20 y 21) y 4,8 mL-L/h (alícuota 19), cumpliendo con la normatividad.

En la gráfica 32 se presenta los Sólidos Sedimentables obtenidos en el punto “Urgencias 2” para las 24 alícuotas, evidenciando un mínimo de 0,1 mL-L/h (alícuota 20) y un máximo de 2,0 mL-L/h (alícuota 5), cumpliendo satisfactoriamente con el máximo estipulado en la norma.

A continuación se gráfica los Sólidos Sedimentables del punto “Salida Principal” obtenidos en las 24 alícuotas, observando para las alícuotas 10, 16 y 18 el dato más bajo (0,1 mL-L/h) y para la alícuota 4 el dato más alto (4,2 mL-L/h), cumpliendo en todos los casos con la norma.

Por su parte el punto “Consulta Externa” presenta un valor máximo de 5,0 mL-L/h (alícuota 9) y un valor mínimo de 0,1 mL-L/h (alícuotas 13 y 18). El comportamiento de los sólidos se puede evidenciar en la siguiente gráfica.

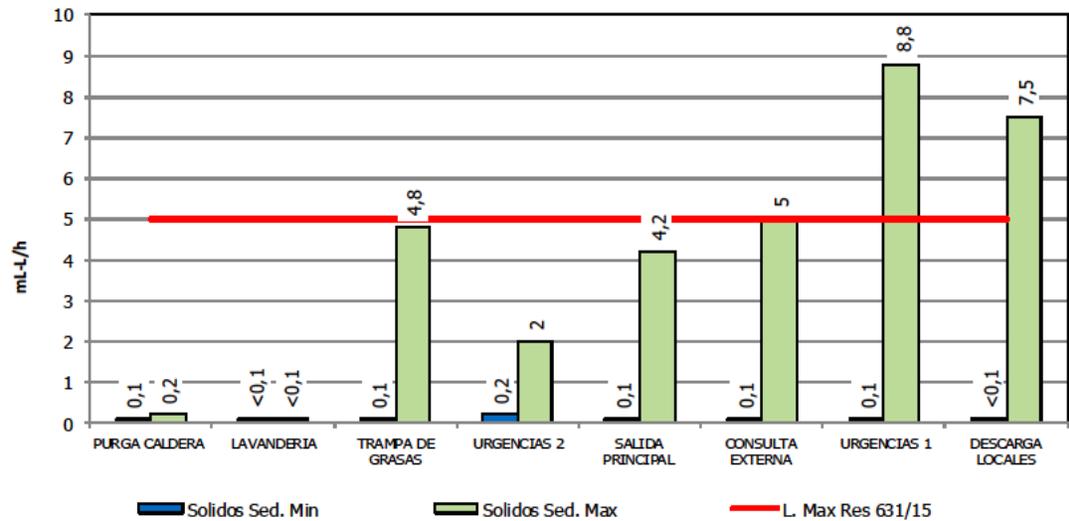
En la gráfica 35 se presenta los Sólidos Sedimentables obtenidos en el punto “Urgencias 1” para las 24 alícuotas, evidenciando un mínimo de 0,1 mL-L/h (alícuotas 18 y 21) y un máximo de 8,8 mL-L/h (alícuota 5), evidenciando para esta un sobrepaso de la norma.

A continuación se gráfica los Sólidos Sedimentables del punto “Descarga Locales” de las 24 alícuotas, observando el dato más bajo de <0,1 mL-L/h y para la alícuota 8 los sólidos más altos con un valor de 7,5 mL-L/h, sobrepasando esta alícuota el máximo establecido por la norma.

En la gráfica 37 se presenta un resumen de los Sólidos Sedimentables máximos y mínimos obtenidos en los 8 puntos objeto de estudio. Con respecto a los sólidos

máximos, el punto “Urgencias 1” y el punto “Descarga Locales” son los que presentan los mayores valores evidenciando un sobrepaso del máximo establecido en la norma. En cuanto al menor dato, este se evidencia para los puntos “Lavandería” y “Descarga Locales” con un valor de <0,1 mL-L/h.

Gráfica 7. Comportamiento Max/Min - Aguas Residuales



FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

Los sólidos sedimentables presentan para los puntos del 1 al 6 valores en la totalidad de las 24 alícuotas que cumplen a cabalidad con la normativa ambiental vigente el cual establece un límite de 5 mL/L-h, sin embargo para los puntos 7 y 8, se presentan para al menos 1 de las 24 alícuotas un sobrepaso de este máximo establecido.

2.4.5 Comportamiento Color en función del tiempo. La palabra "Color" indica la espectrometría de absorbancia no sólo trata con la luz en rango visible (fotones con una longitud de onda de aproximadamente 400 a 700 nanómetros), sino también con longitudes de onda que están fuera del rango de la visión humana (infrarrojo, ultravioleta, rayos X). El Color Real, es el color generado por compuestos disueltos en el agua, se evidencia una vez que se ha removido su turbidez. La técnica de su análisis se basa en la absorción de fotones por una o más sustancias presentes en una muestra (que puede ser un sólido, líquido, o gas), y la promoción subsiguiente del electrón (o electrones) desde un nivel de energía a otro en esa sustancia; reportando para el presente monitoreo los valores que se consignan en la tabla 7, los cuales dependieron directamente de la incidencia del haz de luz que entró en contacto con las muestras de agua.

Tabla 7. Comportamiento Color Real

Parámetros	Unidades	PURGA CALDERA	LAVANDERIA	TRAMPA DE GRASAS	URGENCIAS 2	SLDA PRINCIPAL	CONSULTA EXTERNA	URGENCIAS 1	DESCARGA LOCALES
Hora	h.	9:00-7:00	8:30-7:30	8:30-7:30					
Color Real-Longitud de onda 436nm	m-1	0,8	0,2	6,1	5,8	3,1	2,7	5,2	0,6
Color Real-Longitud de onda 436nm	m-1	0,3	0,1	3,7	3,5	1,8	1,4	2,3	0,2
Color Real-Longitud de onda 436nm	m-1	0,1	0,1	2,5	2,3	1,3	0,8	1,2	0,1

FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

2.4.6 Clasificación de las aguas residuales según Dureza. En cuanto a la Dureza Cálcica se reportaron valores entre 32,4 mg/LCaCO₃ (Lavandería) y 117,5 mg/LCaCO₃ (Trampa de Grasas). Por su parte la Dureza Total fue analizada mediante la técnica volumétrico EDTA, permitiendo clasificar las aguas objeto de estudio de la siguiente manera:

Tabla 8. Clasificación de las aguas residuales según Dureza

Punto de Monitoreo	Valor (mg/L CaCO ₃)	Clasificación (Romero 2009)
Purga Caldera	124,4	Moderadamente dura
Lavandería	41,9	Blanda
Trampa de Grasas	217	Dura
Urgencias 2	150	Moderadamente dura
Salida Principal	62	Blanda
Consulta Externa	134	Moderadamente dura
Urgencias 1	78,9	Moderadamente dura
Descarga Locales	71,3	Blanda

FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

La dureza total registrada en los puntos, permite clasificar las aguas monitoreadas como; “blandas” (Romero 2009), para los puntos “Lavandería”, “Salida Principal” y “Descargas Locales”; “Moderadamente Duras” (Romero 2009), para los puntos “Purga Calderas”, “Urgencias 2”, “Consulta Externa” y “Urgencias 1”; “Dura” (Romero 2009), para el punto “Trampa Grasas”.

2.4.7 Comportamiento de la Alcalinidad y Acidez Total. Este es un parámetro que calcula la capacidad de un agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúen. Las aguas objeto de estudio reportaron concentraciones entre 30,1 mg/LCaCO₃ y 366 mg/LCaCO₃ para los 8 puntos de monitoreo, indicando que los puntos “Purga Caldera”, “Lavandería” y “Descarga Locales” se clasifican en un

rango “bajo” (Kevern 1989) al presentar valores por debajo de los 75 mg/LCaCO₃, el punto de monitoreo “Salida Principal” reportó un valor de 114,4 mg/LCaCO₃ lo que la clasifica con un rango medio, mientras que, para los puntos restantes se registraron valores mayores a 150 mg/LCaCO₃, siendo esta acorde con el pH registrado.

La Acidez Total es una medida del contenido total de sustancias ácidas o la capacidad para neutralizar bases, la cual evidencia concentraciones entre <2,0 mg/LCaCO₃ (Purga Caldera, Urgencias 2 y Urgencias 1) y 67,6 mg/LCaCO₃ (Trampa de Grasas), indicando presencia por parte de esta.

La alcalinidad total presentó concentraciones entre 30,1 mg/LCaCO₃ y 366 mg/LCaCO₃ para los 8 puntos de monitoreo, indicando que los puntos “Purga Caldera”, “Lavandería” y “Descarga Locales” se clasifican en un rango “bajo” (Kevern 1989) al presentar valores por debajo de los 75 mg/LCaCO₃, el punto de monitoreo “Salida Principal” reportó un valor de 114,4 mg/LCaCO₃ lo que la clasifica con un rango medio, mientras que, para los puntos restantes se registraron valores mayores a 150 mg/LCaCO₃.

2.4.8 Comportamiento compuestos de Nitrógeno. En las aguas, los compuestos del nitrógeno representan un papel muy importante puesto que son ellos los intermediarios en el crecimiento de organismos animales y vegetales en el medio. En el caso de los Nitritos que son muy poco comunes por su inestabilidad, en el monitoreo ejecutado a las aguas residuales se registró concentraciones entre <0,012 mg/L N - NO₂ (Lavandería y Consulta Externa) y 0,74 mg/L N - NO₂ (Purga Caldera); en cuanto a los Nitratos, que es el estado de oxidación máximo del nitrógeno y la forma utilizable por parte de las plantas para sintetizar proteínas, registraron concentraciones entre un rango de <0,100 mg/L NO₃ (Lavandería) y 2,27 mg/L NO₃ (Descarga Locales). El nitrógeno en forma de nitratos no sufre reacciones de intercambio iónico debido a su carga negativa, permanece en solución, y es transportado como parte del agua percolada.

Con respecto al Nitrógeno Amoniacal se evidencia un contenido importante el cual se puede deber a procesos de degradación incompleta de materia orgánica a los puntos de monitoreo, al reportar concentraciones entre <1,00 mg/L NH₃ y 72,2 mg/L NH₃ respectivamente. Por su parte el Nitrógeno Total se presentó de igual forma en concentraciones relativamente altas, reportando concentraciones entre <3,00 mg/L N (Purga Caldera y Lavandería) y 86,6 mg/L N (Urgencias 1), las cuales se encuentran relacionadas posiblemente con los procesos realizados.

2.4.9 Comportamiento de iones. Compuestos orgánicos analizados como el Cianuro Total presentaron en todos los casos concentraciones inferiores al límite del método analítico empleado por el laboratorio (0,010 mg/L CN), lo que resulta satisfactorio frente al cumplimiento de lo contemplado (0,50 mg/L CN) en la Resolución 0631 de 2015.

Los iones no metálicos analizados como los nitratos, nitritos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos y fósforo orgánico registraron en todos los casos concentraciones coherentes con la matriz analizada.

2.4.10 Comportamiento compuestos de Fósforo. El fósforo total incluye dos pasos principales, el primero es una conversión a ortofosfato disuelto de todas las diferentes formas de fosforo presentes, incluido el fosforo reactivo, el fosforo acido hidrolizable y el fosforo orgánico. El segundo paso es la detección del ortofosfato en solución por medio de un método cuantitativo. Con respecto a los Ortofosfatos y Fosforo Total reportaron valores entre <0,062 mg/L PO₄⁻³ y 0,802 mg/L PO₄⁻³ para el primer caso y <0,062 mg/L P y 0,989 mg/L P para el segundo caso, indicando la poca afectación por parte de estos compuestos.

2.4.11 Comportamiento de Fenoles. El fenol se utiliza para fabricar productos farmacéuticos, antisépticos, y de acuerdo con la OMS está asociado a las actividades de limpieza en los Hospitales debido a que es un compuesto comúnmente encontrado en los desinfectantes y uno de los parámetros de mayor importancia en las aguas residuales, puesto que estos compuestos son los desechos más comunes. El análisis para la determinación de dicho compuesto, fue efectuado por el método Destilación fotométrico directo, con la cual se reportaron concentraciones entre, el límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio para su detección de <0,100 mg/L y 0,134 mg/L. Con relación a la normatividad ambiental vigente, es posible afirmar que se cumple con lo establecido en la resolución 0631 del 2015, donde se reglamentan un valor permisibles de 0,20 mg/L.

2.4.12 Comportamiento Sólidos Suspendidos Totales. Los Sólidos Suspendidos Totales se encuentran asociados a material suspendido y materia orgánica presente en el agua, condición que influye en el grado de turbiedad de las muestras. En relación a este parámetro se registraron los valores presentados en la siguiente tabla.

Tabla 9. Relación Sólidos Suspendidos

Punto de Monitoreo	Valor (mg/L)	Normatividad
Purga Caldera	23	Cumple
Lavandería	<8	Cumple
Trampa de Grasas	115	No Cumple
Urgencias 2	124	No Cumple
Salida Principal	45	Cumple
Consulta Externa	106	No Cumple
Urgencias 1	140	No Cumple
Descarga Locales	20	Cumple

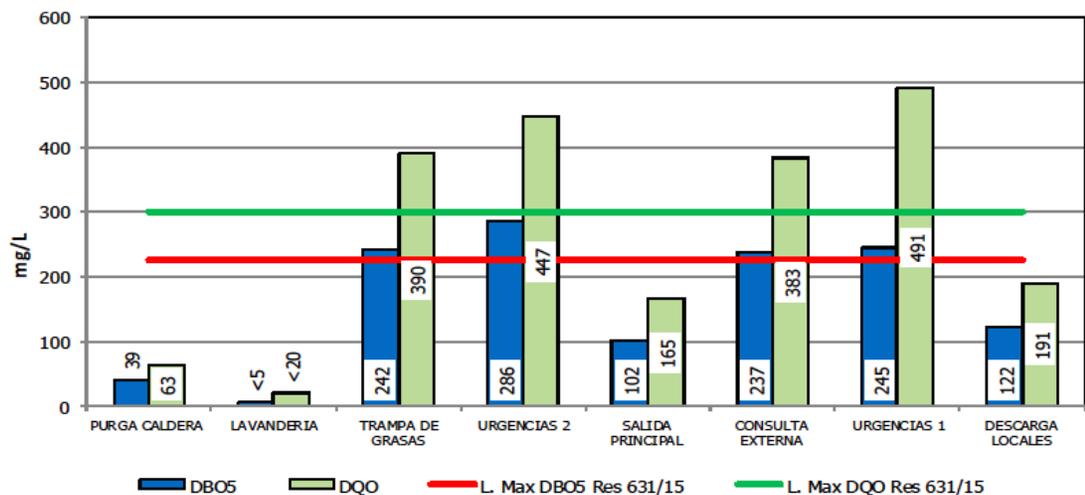
FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

Evidenciando para los puntos; Trampa de Grasas, Urgencias 2, Consulta Externa y Urgencias 1, un sobrepaso con respecto a la Resolución 0631 de 2015, el cual establece un límite máximo de 75,00 mg/L.

Las concentraciones establecidas en los puntos para los sólidos suspendidos permiten establecer cumplimiento en los puntos “Purga Caldera”, “Lavandería”, “Salida Principal”, y “Descarga Locales”.

2.4.13 Comportamiento DBO5 Y DQO. La demanda química de oxígeno DQO, medida en los 8 puntos de monitoreo, reportó concentraciones entre <20 mg/L O₂ y 491 mg/L O₂ lo cual hace referencia a valores que superan el límite máximo permisible (300 mg/L O₂) en la Resolución 0631 de 2015 (Ver gráfica 40). En cuanto a la DBO₅ reportó datos entre <5 mg/L O₂ y 286 mg/L O₂, encontrándose de igual forma puntos que sobrepasan el límite establecido en la Resolución en mención, como se hace evidente en la siguiente gráfica.

Gráfica 8. Concentración DQO Y DBO5



FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

La presencia de materia orgánica, evaluada de manera indirecta por medio de la DBO₅ y la DQO presente para los puntos Trampa de Grasas, Urgencias 2, Consulta Externa y Urgencias 1 un sobrepaso del máximo establecido en la Resolución 0631 de 2015.

2.4.14 Comportamiento de Tensoactivos. Los Tensoactivos, analizados en los 8 puntos reportaron concentraciones entre <0,150 mg/L LAS (Lavandería) y 3,12 mg/L LAS (Descarga Locales). Aunque la norma no cuenta con un límite máximo permisible, la presencia de este parámetro puede generar 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.

2.4.15 Comportamiento de Metales y Metaloides. Con relación a los Metales analizados en las muestras de agua residual, se reportaron concentraciones en las muestras, que cumplen con los límites permisibles establecidos en Resolución 0631 del 2015. Es posible inferir que las concentraciones reportadas se consideran

normales teniendo en cuenta el tipo de agua analizada. En la siguiente tabla se evidencian las concentraciones registradas y los límites permisibles.

Aunque un concepto a tener en cuenta es la galvanización o las tuberías galvanizadas que existen desde el siglo XIX y el hospital canaliza con tubería galvanizada sus aguas residuales y aguas potables. El proceso de galvanizado consiste en que la tubería de acero se le realiza un baño de zinc, sin embargo, el zinc en muchos casos es impuro por naturaleza y esos tubos galvanizados viejos cuentan con trazas de zinc que también contenía plomo y otras impurezas.

Tabla 10. Comparativo con la normatividad para Metales

PARÁMETRO (mg/L)	PURGA CALDERA	LAVANDERÍA	TRAMPA DE GRASAS	URGENCIAS 2	SLDA PRINCIPAL	CONSULTA EXTERNA	URGENCIAS 1	DESCARGA LOCALES	LIMITES PERMISIBLES RES. 0631 DE MINAMBIENTE 2015-LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES, VERTIMIENTOS PUNTUALES ARND AL ALCANTARILLADO PUBLICO-CAP.VIII-ASOCIADAS CON SERVICIOS Y OTRAS ACTIVIDADES
CROMO TOTAL	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,5
MERCURIO	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
PLATA	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031	ANALISIS Y REPORTE
PLOMO	<0,052	<0,052	<0,052	<0,052	<0,052	<0,052	<0,052	<0,052	0,1
CADMIO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05

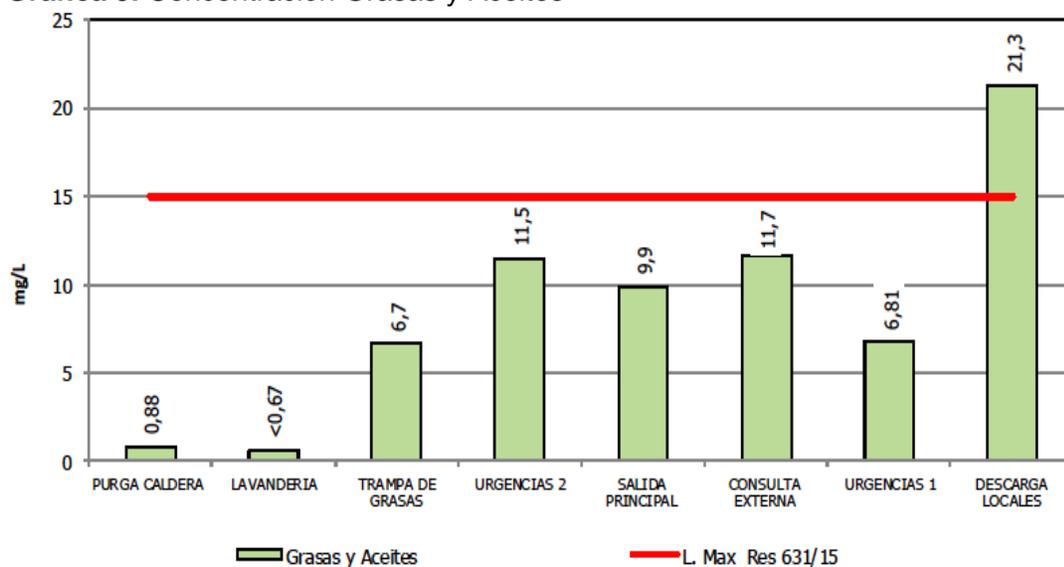
FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

Los metales analizados detectaron concentraciones inferiores a los límites de las técnicas analíticas empleadas por el laboratorio, indicando una mínima presencia y/o ausencia por parte de estos, cumpliendo acabilidad con lo establecido en la Resolución 0631 de 2015.

2.4.16 Comportamiento de Grasas y Aceites. Por su parte las Grasas y Aceites obtuvieron concentraciones entre <0,67 mg/L (Lavandería) y 21,3 mg/L (Descarga Locales), la presencia de estos así sea en pequeñas cantidades pueden cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interface aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar y en consecuencia; sin embargo la Resolución en mención establece un valor máximo permisible de 15,00 mg/L, evidenciando para el último punto en mención un sobrepaso de la norma.

En el punto de muestreo de “Descarga Locales” las grasas y aceites exceden el límite debido a que dos de los cuatro arrendatarios venden almuerzos y funcionan como cocinas. Podría analizarse la instalación de una trampa de grasa en este sitio. Se debe tener en cuenta que en la actualidad no se está realizando preparación de alimentos al interior de la ESE Hospital.

Gráfica 9. Concentración Grasas y Aceites



FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

Los parámetros que no cumplen con la norma de vertimiento en el conjunto de aguas residuales del hospital son: DBO5, DQO Y Sólidos Suspendidos Totales, por consiguiente estos serán nuestros parámetros de estudio.

El resumen de los parámetros evaluados por el laboratorio y la comparación vigente se encuentran en el Anexo C.

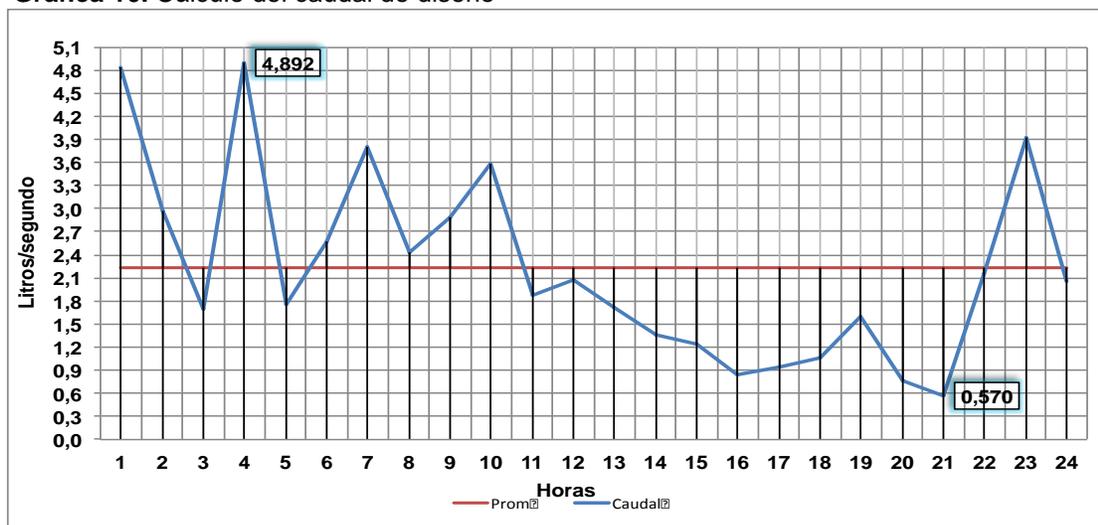
3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En este capítulo se describen las alternativas de tratamientos para el mejoramiento de las características del efluente generado por la ESE Hospital, teniendo en cuenta el diagnóstico del agua y la legislación ambiental vigente.

3.1 CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño se realiza con base a los caudales reportados en la última caracterización y tomando como caudal de diseño el punto máximo.

Gráfica 10. Cálculo del caudal de diseño



3.2 PARÁMETROS DE ESTUDIO

Luego de analizar la caracterización del agua y analizando los resultados, se determina que los parámetros de, DBO5, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, exceden el límite permisible en el artículo 16 establecido en la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, por tanto serán definidos como parámetros críticos para el sistema de tratamiento de aguas residuales, en la tabla 14, se presenta la información correspondiente al estado actual del agua en lo que respecta a dichos parámetros críticos, junto con la comparación contra la norma ambiental aplicable para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Tabla 11. Estado del AR comparado con la norma actual colombiana

RESOLUCION 631 DE 2015		ACTIVIDADES DE ATENCION A LA SALUD HUMANA - ATENCIÓN MEDICA CON Y SIN INTERNACIÓN	LAVANDERIA	PURGA CALDERA	TRAMPA DE GRASAS	URGENCIAS 1	URGENCIAS 2	DESCARGA LOCALES	SLDA PRINCIPAL	CONSULTA EXTERNA	PROM	CUMPLIMIENTO
PARÁMETRO	UNIDADES											
DQO	mg/L O2	200,00	20,00	63,00	390,00	491,00	447,00	191,00	165,00	383,00	268,75	NO
DBO5	mg/L O2	150,00	5,00	39,00	242,00	245,00	286,00	122,00	102,00	237,00	159,75	NO
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	8,00	23,00	115,00	140,00	124,00	20,00	45,00	106,00	72,63	NO

FUENTE: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

También es posible analizar a continuación el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos del aguas residuales generadas en los procesos asistenciales y protocolos de limpieza y desinfección en los últimos años, esto para tener una idea del comportamiento de los contaminantes y algunos factores que han influido en ellos.

3.2.1 Relación Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅). La DBO₅ es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mgO₂/l. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO₅.

Con carácter general, cuanto más contaminación, más DBO. Proporciona una medida aproximada y algunos valores de referencia en función del tipo del agua pueden ser:

- Pura: entre 2 y 20 mg/l
- Poco contaminada entre 20 y 100 mg/l
- Medianamente contaminada entre 100 y 500 mg/l
- Muy contaminada entre 500 y 3.000 mg/l
- Extremadamente contaminada entre 3.000 y 15.000 mg/l

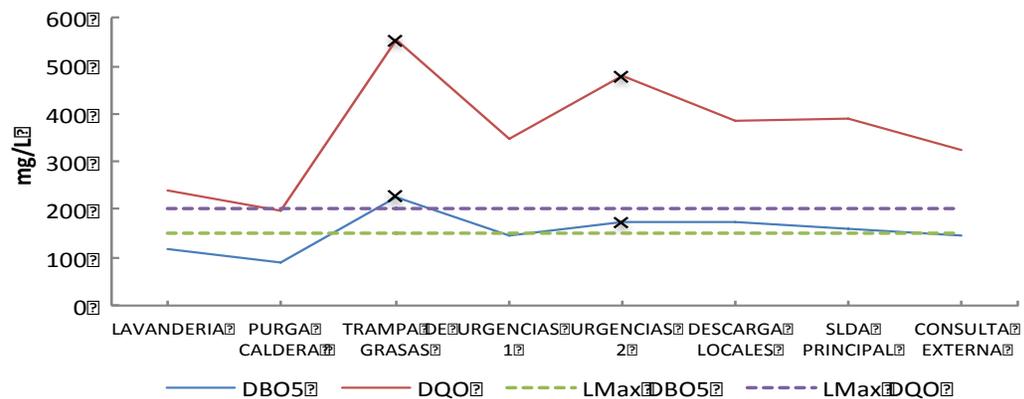
Por otra parte, la DQO es la demanda química de oxígeno del agua. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Se expresa también en mgO₂/l. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO es una prueba que solo toma alrededor de

tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO.²⁰

La diferencia principal entre la DBO₅ y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO₅ sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

DBO₅ y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. La relación entre ellas no es igual para diferentes tipos de agua, pero aguas industriales del mismo tipo tienen parecida relación DQO/DBO. Las gráficas 42, 43 y 44 representan el comportamiento de estos 2 parámetros en los años 2014, 2016 y 2017.

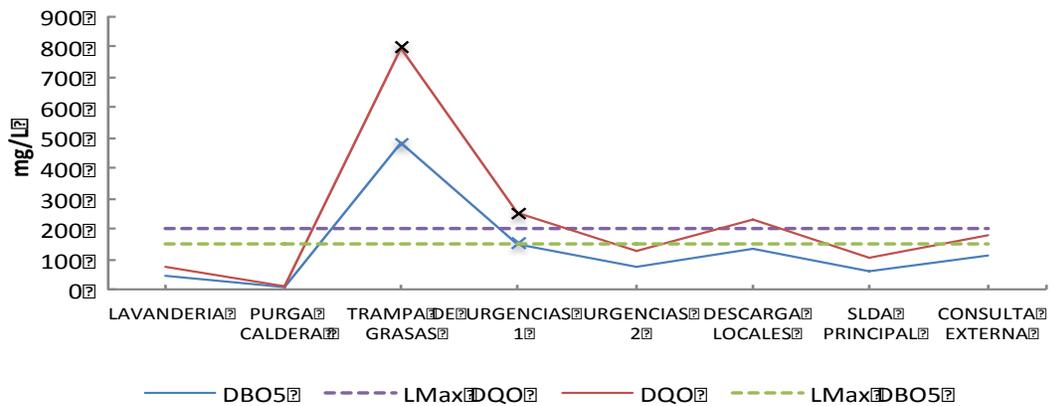
Gráfica 11. Concentración DBO5 Y DQO año 2014



En la gráfica 11 se ven reflejadas las concentraciones de DBO5 Y DQO y sus 2 puntos de contaminación más críticos, siendo estos trampa de grasas y Urgencias 2 con concentraciones superiores a los límites permisibles por la normatividad.

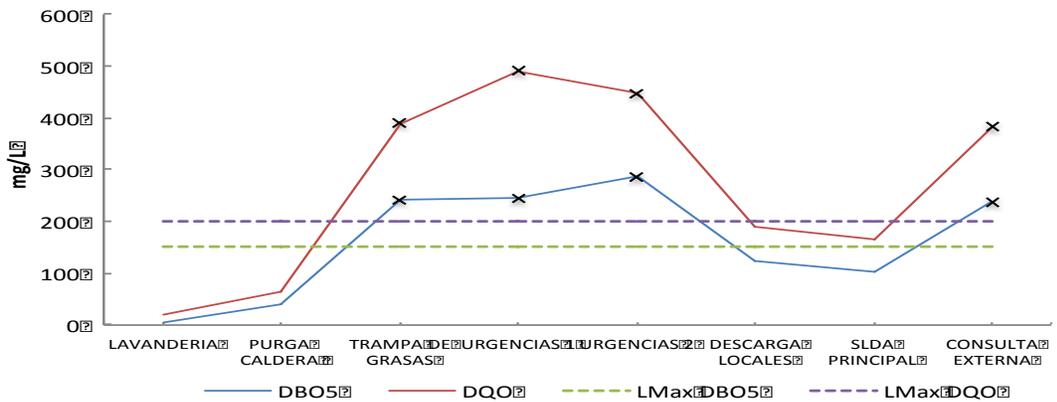
²⁰ ²⁰ METROSALUD [base de datos en línea] (noviembre –diciembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.nihinkasetsuwater.com >

Gráfica 12. Concentración DBO₅ Y DQO año 2016



En el año 2016 se presentaron varios cambios estructurales y administrativos en el hospital, considerandosen los más importantes la eliminación de la cocina y la lavandería, los cuales se reflejan en las concentraciones de estos puntos. Lavandería (DBO₅ 46.60mg/l Y DQO 77.30mg/l) y Urgencias 2 (DBO₅ 75.90mg/l y DQO 126.00mg/l).

Gráfica 13. Concentración DBO₅ Y DQO Año 2017



En el año 2017 se han dividido en 4 puntos críticos de concentración de DBO₅ Y DQO, incumpliendo con la norma como se evidencia en la tabla 13 con superación de los limites permisibles.

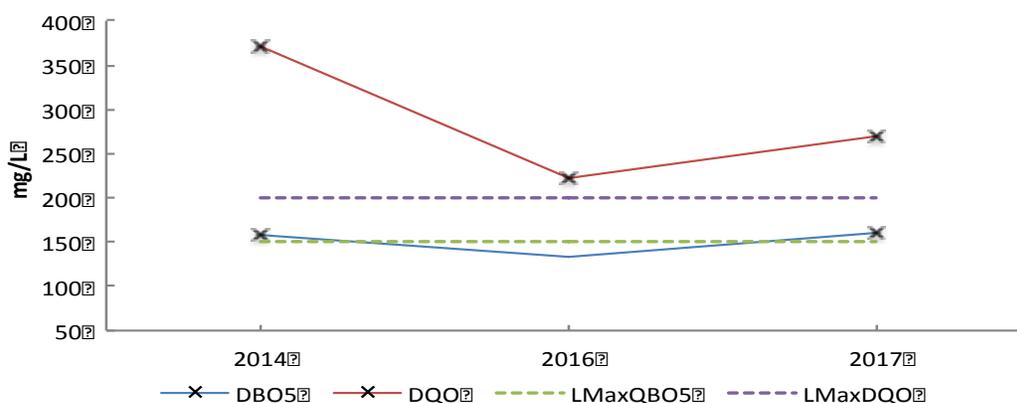
Tabla 12. Concentraciones DBO5 Y DQO por punto de monitoreo año 2017

2017	PARÁMETRO	
	DBO5	DQO
LAVANDERIA	5,00	20,00
PURGA CALDERA	39,00	63,00
TRAMPA DE GRASAS	242,00	390,00
URGENCIAS 1	245,00	491,00
URGENCIAS 2	286,00	447,00
DESCARGA LOCALES	122,00	191,00
SLDA PRINCIPAL	102,00	165,00
CONSULTA EXTERNA	237,00	383,00

FUENTE: HUQSJD Reporte Agosto, 2017

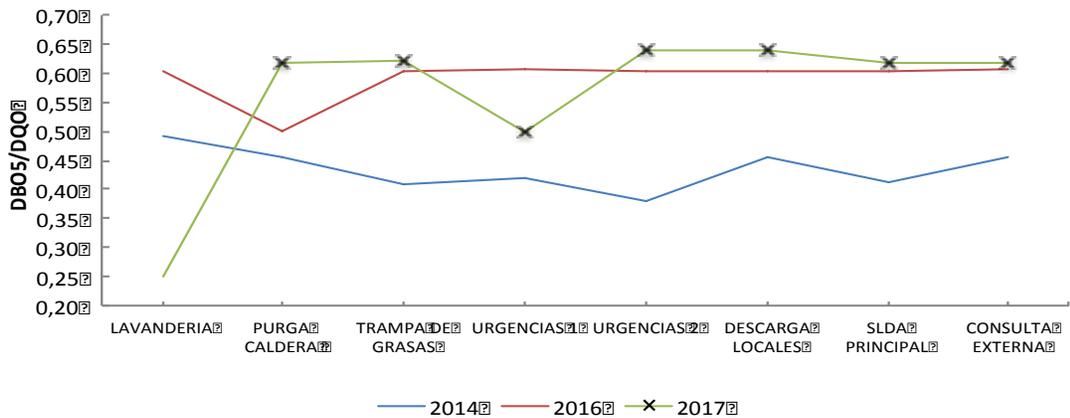
A continuación en la gráfica están consolidados los valores de DBO5 Y DQO para los años 2014, 2016 y 2017, donde se refleja claramente el comportamiento de los dos parámetros, teniendo en cuenta que este comportamiento esta relacionado directamente con el volumen de pacientes de las diferentes dependencias.

Gráfica 14. Concentración DBO5 Y DQO Año 2014,2016, y 2017



Con respecto a la gráfica 45, se puede revisar un aumento considerable en los parámetros de materia orgánica, (DQO y DBO₅) en el presente año, para analizar dicho aumento, es pertinente recordar que la cantidad de cama/día en el año 2016 fue de 274, mientras que este año ha sido de 315, aunque la relación entre estos dos parámetros no es proporcional si es directa, percibiendo un aumento en el factor cama/día lo que influye en la cantidad de agua generada para dichos procedimientos asistenciales. Ahora bien, el aumento en la cantidad de agua no afecta directamente la concentración de carga contaminante en el efluente, aunque se tiene un volumen de contaminante cercano a los 508 litros /cama/día; una de las razones por la cual aumenta la concentración de estos parámetros en el agua residual puede deberse a cambios en el manejo de residuos, programas de gestión y/o al número de egresos y remisiones.

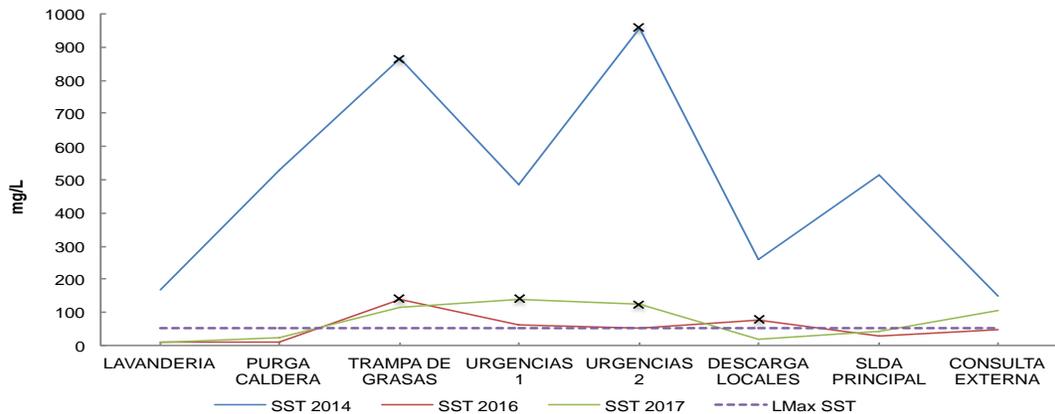
Gráfica 15. Relación DBO5/DQO Año 2014, 2016 y 2017



Para el agua residual industrial generada por la ESE Hospital. se tiene una relación de $(\text{DBO}_5/\text{DQO}) > 0,5$; motivo por el cual la materia contaminante se considera de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor. Estas aguas residuales, puede ser tratadas mediante tratamientos biológicos para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

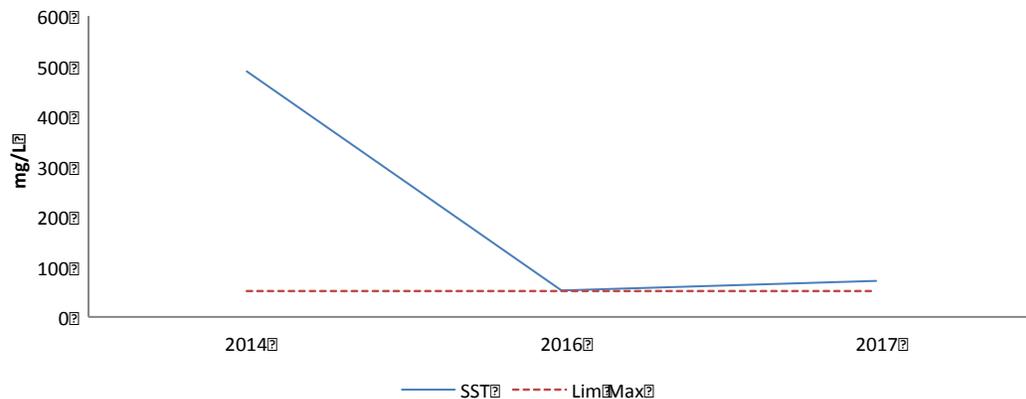
3.2.2 Comportamiento Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los Sólidos Suspendidos Totales son otro parámetro de estudio para el sistema de tratamiento de aguas del hospital y sus puntos críticos han tenido una notable mejoría desde el año 2016 que se estableció la disposición de fluidos corporales como residuos sólidos y no líquidos, pasando de Trampa de grasas de un valor de 864,00mg/l a 139,00mg/l de SST, siendo este el punto con mayor diferencia; pero con una tendencia de cambio en todos los puntos de vertimiento.

Gráfica 16. Concentración Sólidos Suspendidos Totales



Con respecto a la gráfica 16, se puede observar como los sólidos suspendidos totales en el agua residual han disminuido del 2014 con un valor de 490,84mg/l a 52,96mg/l en promedio, esto debido a la implementación de programas para la disposición adecuada de residuos, aunque han aumentado de 52,96mg/l a 72,63 mg/l del 2016 al 2017 a causa del incremento en el número de cama/día.

Gráfica 17. Concentración SST Año 2014, 2016 y 2017



Ahora bien, teniendo una idea del comportamiento de algunos parámetros a lo largo del tiempo se indago acerca del reordenamiento del hospital y se estableció que estará basado en reducir el índice de cama/día para mejorar la calidad en la atención y cambiar posibles condiciones de operación, aunque este índice es muy susceptible al cambio, por lo tanto el agua residual generada por estos procedimientos asistenciales serán variables al igual que la carga contaminante, debido a esto es importante hacer una adecuada selección de cada una de las operaciones unitarias que harán parte del tratamiento, para que funcione a un mediano plazo.

Teniendo en cuenta los parámetros críticos adjuntos en la Tabla 14. Se procede a analizar los tratamientos que son aplicables al agua residual generada por la ESE Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios.

Para el agua residual industrial generada por la ESE Hospital, se tiene una relación de DQO/DBO₅ igual a 0.59; esto significa que la materia contaminante es de naturaleza urbana y se consideran viables los tratamientos biológicos.

En referencia al Capítulo 1, en el numeral 7 se determinó que todas aquellas tecnologías que pertenecen a los tratamientos secundarios no se consideran aplicables, debido a que el agua residual en cuestión no contiene grandes cantidades de materia orgánica biodegradable o sales disueltas, por otro lado es posible que el agua residual contenga microcontaminantes que seguramente son removidos con tratamientos terciarios, pero podría considerarse un costo innecesario aplicar algunas de estas tecnologías muy sofisticadas.

En consecuencia a los tratamientos primarios son los más adecuados y efectivos para remover la carga contaminante generada en el vertimiento de agua, debido a que este residuo líquido está cargado de sólidos suspendidos, coloides, aceites y grasas.

3.3 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Luego de analizar el comportamiento de los parámetros de estudio para el tratamiento de aguas residuales, se deben elegir las operaciones unitarias y la combinación de las mismas que representaran el porcentaje de remoción del vertimiento. Las alternativas son elegidas teniendo en cuenta el cumplimiento de la resolución 0631 de marzo del 2015.

Varias alternativas son propuestas a nivel laboratorio y tienen como objeto un caudal de agua residual domestica promedio generado por el hospital de 0.43 L/s, estas propuestas son evaluadas debido a su eficiencia en la remoción de los parámetros críticos analizados anteriormente. Es importante aclarar que el hospital ya cuenta con una trampa de grasas instalada en uno de los puntos de vertimiento del hospital, que remueve parte de los sólidos suspendidos totales del agua residual.

- **Trampa de grasas.** Es el sistema más sencillo para remoción de aceites y grasas no emulsificadas, usado para establecimientos e industrias pequeñas. Ésta es una cámara pequeña de flotación en la cual la grasa flota a la superficie libre del agua y es retenida, mientras que el agua más clara subyacente es descargada.

21

Ventajas

- Mejora el desempeño de una planta de tratamiento.
- Separa grasas por remoción sin necesidad de utilizar químicos.
- Reduce el mantenimiento de tuberías, porque las grasas no quedan adheridas.
- Contar con este sistema evita futuros taponamientos de tuberías de drenaje sanitario.

Desventajas

- Requiere de un mantenimiento constante
- Deben evitarse las cargas hidráulicas súbitas sobre ella debido a que esto puede producir agitación excesiva del contenido de la trampa, impide la retención y flotación de la grasa.
- Se debe realizar un buen diseño hidráulico y un tiempo de retención adecuado para su propósito.

- **Homogenización.** Es un tanque que sirven para regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales. Consiste

²¹ Jairo Alverto Romero Rojas. Teoria y principios de diseño. Pág.285-288

en amortiguar las intermitencias de caudales y lograr un caudal aproximadamente constante.

Ventajas

- Mejora la trazabilidad del agua residual
- Minimiza cargas choque sobre el tratamiento biológico
- Diluye sustancias inhibitorias
- Estabiliza el pH
- Mejora la eficiencia y, por lo tanto, la calidad del efluente
- Uniformiza la carga de sólidos sobre el sedimentador secundario y mejora el espesamiento de los lodos.²²

Desventajas

- Requiere de unos criterios específicos de localización
- Generalmente requieren mezcla, para asegurar un igualamiento adecuado.
- Asentamiento de sólidos sedimentables

- **Coagulación-Floculación.** Los términos Coagulación y Floculación se utilizan frecuentemente de manera simultánea. Para aclarar idea se difiere en Coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración²³.

Ventajas

- Requiere menos tiempo que la decantación y permite una mayor carga de sólidos en el agua.
- Es efectivo en la remoción de varios parámetros en forma simultanea.
- Es de operación simple.
- Emplea reactivos comunes para la coagulación y/o floculación.
- Posibilidad de aplicación en una gran variedad de matrices.
- Gran adaptación a fluctuaciones de concentraciones de contaminantes contenidos en las aguas a tratar.

Desventajas

- Requiere uso de insumos constantes.
- Requiere zonas de almacenamiento de reactivos.
- Genera lodos y estos pueden ser peligrosos dependiendo de la toxicidad del efluente a tratar.
- Requiere planes de manejo de lodos.
- Cuando las concentraciones de los parámetros son bajas la eficiencia disminuye, requiriendo mayor consumo de reactivos, generando una gran cantidad de lodos.²⁴

²² ESPOCH [base de datos en línea] (noviembre –diciembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.dspace.espoch.edu.ec >

²³ M. I.Aguilar Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. Pág 145.

²⁴ DOCPAYER [base de datos en línea] (Septiembre –diciembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.docplayer.es >

- **Sedimentación.** Se utiliza para separar las partículas sólidas dispersas en un líquido. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que, aunque éste último tenga un movimiento ascendente y las partículas sólidas sedimenten, depositándose en el fondo de donde son eliminadas en forma de lodos. La viscosidad del líquido frena las partículas sólidas, que deben vencer el rozamiento con el líquido en el movimiento de caída.

Ventajas

Para separadores naturales:

- La separación por gravedad es un método económico debido a que no utiliza reactivos
- No requiere energía para la separación, solo se consume por concepto de bombeo de alimentación.
- Sin necesidad de ser operado por personal capacitado.
- Sistemas compactos, de simple implementación y mantención.

Desventajas

- La separación natural se utiliza como etapa de pre tratamiento, debido que necesita tiempo de reacción (o residencia dentro del equipo) para lograr la remoción, razón por la que es mayormente usado para procesos de bajo caudal.
- Si los sólidos son de baja densidad y poco flocculantes, los equipos de sedimentación simple deben ser de gran envergadura y necesitan de alto tiempo de residencia.

- **Filtración.** Proceso de separación de sólidos del agua, ocurre cuando la mezcla sólidos-líquido pasa a través de un medio más o menos poroso, el cual retendrá los sólidos y permite en paso del líquido, la filtración depende del tamaño de los sólidos con relación a los poros del filtro.

Ventajas

- Por medio de la gravedad y el uso de rejillas o filtros se separan las mezclas en base a un tamaño de partícula.
- El filtro de rejilla es económico de instalar y es de mantenimiento económico.
- Eficiencia de 99% en sólidos grasas y arenas.
- Vida útil 20 de años. ²⁵

Desventajas

- Hay tamaños de partícula que pasan a través de los filtros y rejillas. Cuando se trata de otras moléculas es un complemento de método de separación.
- Si el filtro utilizado es de membrana como el de polipropileno su costo es económico, pero su mantenimiento es caro porque se debe extraer para limpiarlo.

²⁵ Walter J. Weber. Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos. Pág 104-107

- **Oxidación biológica.** Este tratamiento es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes.²⁶

Ventajas

- Bajo costo de inversión y operación
- Alta eficiencia de tratamiento
- Producción de una fuente de energía que puede servir para calentar el agua residual hasta la temperatura de operación.
- Necesidad de espacio relativamente pequeño para las instalaciones debido a la aplicación de carga orgánica
- Baja producción de lodo en exceso

Desventajas

- Insuficiente generación de alcalinidad y metano cuando se depuran aguas residuales muy diluidas
- Cinética lenta a bajas temperaturas
- Ciertos compuestos como NH_4^+ , PO_4^{3-} Y S^{2-} quedan en disolución. Por este motivo, si es necesario, se tiene que usar un tratamiento posterior.²⁷

- **Oxidación Química (Proceso Fenton).** El proceso de oxidación Fenton es básicamente la activación del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con iones ferrosos para oxidar ácido tartárico. Este proceso consiste en la adición de sales de hierro en presencia de H_2O_2 , en medio ácido, para la formación de radicales $^{\circ}\text{OH}$. A la combinación de H_2O_2 y sales de hierro se denomina reactivo Fenton. Además de formarse radicales $^{\circ}\text{OH}$, se generan radicales perhidroxilo (HO_2°), los cuales inician una reacción de oxidación en cadena para eliminar la materia oxidable.

Ventajas

- No se forman compuestos clorados como en otras técnicas oxidantes
- no existen limitaciones de transferencia de masa por tratarse de un sistema homogéneo
- Bajo coste de las sales ferrosas, a su baja toxicidad y a que el peróxido de hidrógeno es sencillo de manejar y el exceso se descompone en productos inocuos.

Desventajas

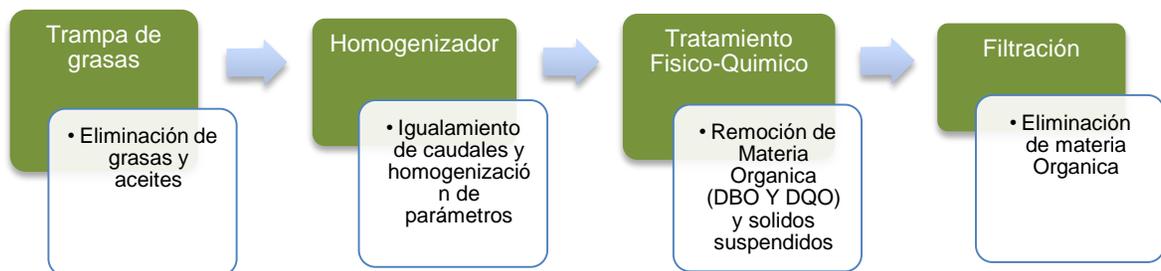
- Costos asociados al tratamiento de lodos (se genera una gran cantidad de lodos poco densos y, por consiguiente, difíciles de decantar)

²⁶ Ronzano, Eduardo, Dapena, José Luis. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Pág 205-209

²⁷ SLIDESHARE [base de datos en línea] (Octubre –diciembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.slideshare.net >

- Alto consumo de peróxido de hidrógeno y la necesidad de eliminar el hierro añadido, lo que añade etapas adicionales al tratamiento e incrementa el coste.²⁸

3.3.1 Primera Alternativa. La primera alternativa inicia con el proceso preliminar llamado trampa de grasa y aceites, cuya función es retener por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación, el material graso, posteriormente el agua pasa por un proceso de homogenización, donde se igualan caudales, luego un proceso de coagulación- floculación que se encarga de la remoción y disminución de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos, que son los parámetros críticos y por ultimo sigue a un proceso de filtración, por medio de un lecho de arena y antracita para la remoción de materia orgánica presente.



3.3.2 Segunda Alternativa. En segunda alternativa propuesta de tratamiento se especifican cinco operaciones unitarias, iniciando con el sistema preliminar de la trampa de grasas, luego el proceso de coagulación-floculación, seguida de una oxidación biológica que pretende descomponer la materia orgánica mediante la aportación de oxígeno y la actividad de microorganismos, con el fin de disminuir el porcentaje de DBO₅ presente en el vertimiento, por último propone el proceso de filtración que acaba de retirar la materia orgánica.²⁹



3.3.3 Tercera Alternativa. Como ultima alternativa, se propone la trampa de grasas al inicio del tratamiento seguida del proceso de coagulación-floculación, se propone realizar una oxidación química por medio del Proceso Fenton, proceso de

²⁸ QUIMICA-G2014 [base de datos en línea] (Octubre – noviembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.quimica-g2014.blogspot.com >

²⁹ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. Pág 87

oxidación avanzada en el cual se producen radicales altamente reactivos del hidroxilo, seguido de la filtración.³⁰



3.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección para el tratamiento adecuado no solo implica el cumplimiento de la normatividad actual, sino también las características del agua residual, la calidad requerida del vertimiento, la disponibilidad de área, los costos de construcción y de operación del sistema de tratamiento, la confiabilidad del sistema de tratamiento y la facilidad del proceso para cumplir con requerimientos futuros más exigentes.

Entonces, de acuerdo a las necesidades y a las exigencias establecidas por la ESE Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios se han determinado los siguientes criterios de selección:³¹

3.4.1 Área de la planta. El hospital actualmente dispone de un área destinada a la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales; por tal motivo la selección de las operaciones unitarias, tratamientos y equipos deben ajustarse a dicha área. Aunque la sugerencia es ocupar el menor espacio debido a que este en el momento esta destinado a recreación de niños.

³¹ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundación Universidad America. Pág 88.

Figura 14. Ubicación de la PTAR dentro del Hospital



El área sombreada en la figura 10 con color azul pertenece al área del Hospital y el ovalo rojo a la ubicación satelital de la PTAR.

El área y la distribución del espacio disponible actualmente para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales es de 100,51 m²

Figura 15. Área disponible para la implementación de la PTAR



Alternativa 1: Para el proceso de trampa de grasa se considera rediseñar la existente que debido a un sobredimensionamiento no cumple su objetivo o implementar una adicional en la caja de inspección de “descarga locales” para controlar ese punto aportante de grasas y se diseña para el espacio de la caja de inspección que se encuentra antes de ingresar al tanque homogeneizador, que tendría aproximadamente 10 m² y un área de filtración 3,60 m² Área Total Aproximada de =14 m²

<p>Alternativa 2: En esta alternativa tenemos las mismas especificaciones de la alternativa 1; pero se le adiciona un tanque de 3 compartimientos de aproximadamente 12,00m² · un sedimentador de 6m² y adicionalmente el proceso de tratamiento de lodos que tendría un área de 5m². Área Total Aproximada de =18 m²</p>
<p>Alternativa 3: Para esta alternativa se diseña 1 tanque de oxidación, 1 tanque de neutralización y 1 tanque de floculación para un total de 25m² seguido de un sedimentador de 6m² Área Total Aproximada de =31 m²</p>

3.4.2 Proyección de la planta. Debido a que el hospital cuenta con un aumento en los últimos datos estadísticos de su índice de cama/día y otros indicadores de crecimiento para los próximos años, debe diseñarse una planta que se ajuste no solo a las necesidades actuales, sino también a las de mediano plazo (mínimo 5 años), aunque también se consideran aspectos hidráulicos duraderos y seguros para este criterio.³²

<p>Alternativa 1: Esta alternativa tiene una proyección de corto y mediano plazo si no se tienen cambios grandes en los caudales, debido a que el tanque homogenizador esta diseñado para un caudal aproximado del 80% del consumo actual y con un factor de seguridad del 15%. Adicional a esto el sistema no tiene equipos que sufran un deterioro mayor en un largo tiempo.</p>
<p>Alternativa 2: Esta alternativa tiene una proyección de corto y mediano plazo si se consideran aspectos de mantenimiento adecuados y un caudal constante para el funcionamiento</p>
<p>Alternativa 3: Esta alternativa tiene una proyección de mediano y largo plazo, debido a que propone un sistema químico que puede acomodarse a posibles condiciones de cambio en caudales y características del agua.</p>

3.4.3 Costos.³³ Se evalúa la alternativa de tratamiento que genere menores costos y estos dependen de su localización y los precios al momento de su construcción. A este criterio se le asignada un valor alto en la matriz de selección debido a que el Hospital enfatizo bastante en los bajos costos de la planta.

Los costos presentados a continuación no incluyen costos no constructivos de planeamiento, administración, legalización, ingeniería básica e imprevistos,

³² Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. Pág 105.

³³ Ecuación de costos USEPA. Bibliografía.

deducidas en estudios hechos por la USEPA.

Alternativa 1: Los costos aproximados para esta alternativa son de \$2.065.161.684, este valor contiene los costos generales del tratamiento preliminar, igualamiento de caudales, agregación de químicos y filtración en arena.
Alternativa 2: Los costos aproximados para esta alternativa son de \$4.254.696.996, incluye tratamiento preliminar, sedimentación primaria, digestión aerobia y filtración en arena.
Alternativa 3: Los costos aproximados para esta alternativa son de \$3.376.011.026, contienen los valores para tratamiento preliminar, igualamiento de caudales, sedimentación primaria, agregación de químicos y filtración en arena.

3.4.4 Eficiencia. Con el fin de cumplir con la normatividad vigente para el manejo de vertimientos, es necesario que se genere un porcentaje de remoción medio y disminución de los parámetros críticos. El sistema debe tener suficiente eficiencia en la remoción de sólidos y materia orgánica (DBO₅ Y DQO), de manera que se pueda cumplir con los límites permisibles en la resolución 0631 del 2015. A continuación se muestran las eficiencias de cada alternativa, las cuáles se calcularon realizando un promedio de las eficiencias de cada operación unitaria para tener un valor general de cada proceso³⁴:

Alternativa 1: La eficiencia de esta alternativa es de 20%Trampa de grasas, Tanque homogenizador 50%, Coagulación-Floculación 70% y filtración 90%. Porcentaje de remoción en los parámetros de estudio del 57,5%
Alternativa 2: La eficiencia de este sistema es de 20%Trampa de grasas, 70% Coagulación-Floculación, 90% asignado a un sistema biológico con oxígeno, 40% para sedimentación y 90% para filtración; para un porcentaje de 62%
Alternativa 3: La eficiencia de esta propuesta esta discriminada de la siguiente forma: 20%Trampa de grasas, 70% Coagulación-Floculación, 97 % Oxidación avanzada, 40% para sedimentación y filtración 90%; para un porcentaje total del 63,4%

3.4.5 Mantenimiento. El mantenimiento, manejo y limpieza debe ser fácil así como el control de los equipos, los repuestos deben ser sencillos de comprar e instalar, adicional a esto debe ser económico y rápido. ³⁵

³⁴ Calidades y rendimientos obtenidos de los procesos de tratamiento de aguas residuales

³⁵ Se cuantifica con base al caudal de operación

Alternativa 1: El mantenimiento de esta propuesta por contener básicamente solo tratamiento preliminar y primario es \$266.400 mensual / \$3.196.800 anual.
Alternativa 2: El mantenimiento de este tratamiento secundario es de \$333.720 mensual/ \$4.004.640 anual.
Alternativa 3: el mantenimiento de esta alternativa es de \$641.160 mensual/ \$7.693.920 anual.

3.4.6 Sostenibilidad. Es sostenible un sistema cuando a lo largo de su vida proyectada suministra los requerimientos deseado de servicio, con criterios de calidad y eficiencia económica y ambiental, es usado de manera eficiente sin que cause un efecto negativo al ambiente.

Se estima el valor de sostenibilidad de la alternativa con respecto a el impacto ambiental que genere.

Alternativa 1: La sostenibilidad de esta alternativa es 70%, debido a que la propuesta no genera mayores residuos.
Alternativa 2: Para esta propuesta la sostenibilidad es de 90%, debido a que los residuos del proceso son tratados biologicamenet por el mismo.
Alternativa 3: Esta alternativa tiene un porcentaje de sostenibilidad de 50%, debido a que el suministro de materia prima es alto, al igual que sus residuos.

3.4.7 Manejo Operativo. Debe seleccionarse una alternativa que no implique personal por tiempos prolongados, y debe tener una operación simple, que no requiera personal especializado.

Alternativa 1: No implica personal a cargo de la planta
Alternativa 2: Implica una persona a cargo de la planta para la vigilancia y dosificación de bacterias
Alternativa 3: Implica una persona a cargo de la planta con monitoreo frecuente y conocimientos en formulación

La selección del sistema contemplará cada uno de los criterios de selección y a continuación se desarrolla nivel laboratorio, para determinar los porcentajes de remoción y analizar cual de las alternativas propuesta tiene viabilidad.

3.5 MATRIZ DE SELECCIÓN

Teniendo en cuenta la caracterización de agua, el caudal y en base a las alternativas planteadas se elegirá por medio de una matriz de selección cualitativa, la alternativa para tratar el agua residual del hospital, teniendo en cuenta la infraestructura de esta y los requerimientos de tratamiento.

Se realiza una matriz de selección en la cual se le otorgará un porcentaje de acuerdo con el nivel de importancia según el Hospital.

Tabla 13. Criterios de selección para el sistema de tratamiento

Criterios de Selección	Porcentaje
Área de la Planta	15
Proyección de la Planta	15
Costos	25
Eficiencia de Remoción	20
Mantenimiento	10
Sostenibilidad	7
Manejo Operativo	8

Fuente: Antek S.A.S Reporte Agosto, 2017

Se le dio mayor relevancia al criterio de Eficiencia de remoción y Costos, debido a que el sistema de tratamiento es necesario en el hospital en este momento; pero no hay un presupuesto mayor aprobado para la obra implementación y es obligatorio para el hospital cumplir con la normatividad y bajar los parámetros críticos que no están cumpliendo.³⁶

Estos porcentajes son establecidos y utilizados para determinar el puntaje de cada uno de los 3 tratamientos planteados. El máximo valor que se puede obtener de una alternativa de tratamiento es 100 y el menor de 25 calificando el tratamiento como el menos viable.

Tabla 14. Niveles de importancia

Nivel	Clasificación
Excelente	100
Eficiente	75
Regular	50
Mala	25

³⁶ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. Pág 100.

A partir de la información sobre los tratamientos, se evalúan por medio de la matriz de selección cada una de las alternativas planteadas y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 15. Matriz de selección

Alternativas	1	2	3
Criterios de Selección			
Área de la Planta	15	8	12
Proyección de la Planta	12	13	15
Costos	23	9	11
Eficiencia de Remoción	16	17	18
Mantenimiento	6	4	5
Sostenibilidad	6	5	4
Manejo Operativo	7	4	3
Total	85	60	68

De acuerdo a los valores de la matriz de selección planteada y a la calificación obtenida por medio de la evaluación experimental de cada uno de los parámetros de selección, la alternativa menos viable y con una clasificación “regular” es la número 2 que consta de una oxidación biológica de materia orgánica por medio de la adición de oxígeno y la actividad de microorganismos, debido a que la relación DQO vs DBO5 del vertimiento es de 0,5, es decir la carga contaminante en el agua es en su mayoría orgánica y biodegradable, razón por la cual un tratamiento biológico es viable para el agua generada por el hospital; pero representa costos altos de mantenimiento, construcción y manejo operativo, adicional a esto esta propuesta esta soportada en procesos en los que los porcentajes de remoción son mucho mal altos y puede no funcionar para esta agua, lo que hace que en el costo-beneficio sea mucho mas grande el costo.

En cuanto a la alternativa número 3, que consiste en una oxidación química, puede tenerse en cuenta dentro de las alternativas propuestas, debido a que es un tratamiento aplicable y eficiente para aguas residuales con carga orgánica, pero todos los costos asociados a esta propuesta son altos y en cuanto al manejo operativo se debe ajustar el pH del agua en un rango de 2.5- 3 unidades (alcalino) para que dicho proceso de oxidación por medio de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso como catalizador sea eficiente y esto lleva a otros costos adicionales de personal especializado. Adicional a esto este proceso está documentado para sistemas de DQO >1000mg/l y no es el caso de este afluente.

Por ultimo se tiene la alternativa 1, que tuvo una calificación de “eficiente” para este sistema debido a que la documentación de este proceso es muy amplia y ha demostrado ser altamente eficaz para los parámetros de carga orgánica y sólidos

totales, que son nuestros parámetros de estudios y además tiene costos muy bajos asociados y no necesita personal especializado para su manejo. Motivos por los cuales es la propuesta de tratamiento para el afluente generado por el hospital.

4. DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO SELECCIONADA A NIVEL LABORATORIO

Este capítulo detalla el procedimiento experimental de la alternativa seleccionada por medio de la matriz de selección donde se evaluaron cada uno de los criterios. También incluye un plan de laboratorio que determinará las condiciones óptimas de cada una de las operaciones unitarias que componen el tratamiento de aguas residuales.

Toda la evaluación experimental de la alternativa propuesta se realizó en el laboratorio de la Universidad del Quindío.

4.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELEGIDO (ALTERNATIVA 1)

Esta propuesta será evaluada experimentalmente en las dos operaciones unitarias principales del tratamiento propuesto, es decir, coagulación-Floculación y filtración, de ser necesarias las dos para cumplir con el objetivo de la experimentación que es un porcentaje mínimo del 30% de remoción.

La metodología de los procesos se describen a continuación.

4.1.1 Coagulación – Floculación. Este proceso se evalúa a nivel laboratorio por medio de un test de jarras, con el cual se determinan los coagulantes, floculantes y las dosis necesarias para la mayor remoción de carga contaminante, utilizando el afluente recolectado de 8 puntos de monitoreo compuesto, seguido de un integrado que representa las condiciones del conjunto de aguas residuales del hospital.

Hay 3 productos que son frecuentemente utilizados en este proceso, uno de ellos es sulfato de aluminio, cloruro férrico y el Policloro orgánico, motivo por el cual se eligieron para la experimentación. En el caso del sulfato de aluminio el ion que cumplirá la acción de la coagulación será el ion Al^{+3} y en el caso del cloruro férrico será el ion Fe^{+3} , en este caso los dos son cationes y para estos iones cargados positivamente se entiende que son afines con iones cargado negativamente como cloruros, sulfuros, sulfatos, sulfitos, fosfatos, nitritos, nitratos etc...que por esta diferencia de cargas formaran “coagulos” y posteriormente los coágulos aumentan y se unen entre si para formar los flocs. Se pretende que estos flocs se precipiten para llevarlos a un proceso de sedimentación. En el caso de los flocs que no se precipitan, serán eliminados en la etapa de filtración.

La metodología de este proceso se encuentra en el anexo G.

- **Reactivos utilizados en la experimentación.**

Coagulantes

Tabla 16. Descripción de Coagulantes

Descripción	Nombre
<p>Producto obtenido generalmente por la reacción entre el Ácido sulfúrico y una materia prima rica en aluminio como la bauxita. Es un coagulante que tiene como fin principal el tratamiento de aguas para consumo humano y residual, removiendo agentes contaminantes como turbiedad y color.</p>	 <p>SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B</p>
<p>El cloruro de hierro o tricloruro de hierro (tradicionalmente llamado cloruro férrico) es un compuesto químico utilizado a escala industrial perteneciente al grupo de los haluros metálicos, cuya fórmula es $FeCl_3$. Cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro sufre hidrólisis y libera calor en una reacción exotérmica. De ello resulta una solución ácida y corrosiva de color marrón que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales y la potabilización del agua.</p>	 <p>CLORURO FÉRRICO</p>
<p>Coagulante inorgánico prepolimerizado, el cual se comporta diferente a los coagulantes convencionales en el proceso de clarificación debido a sus características de especiación química. Este coagulante tiene diferentes fases sólidas en las reacciones hidrolíticas respecto a los coagulantes convencionales: los flóculos de PAC's tienden a ser grupos de pequeñas esferas y/o estructuras tipo cadena con tamaño menor a 25 mm, mientras que los flóculos de sulfato de aluminio son usualmente estructuras esponjosas y porosas con tamaño de 25 a 100 mm.³⁷</p>	 <p>PAC</p>

³⁷ QUINSA [base de datos en línea] (Octubre – noviembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < www.quinsa.com.co >

Equipos utilizados en el Test de Jarras

Equipo Test de Jarras. (ORBECO ET 750). Es un equipo que cuenta con 6 puestos, cada uno con un vaso precipitado de 1000 mL y un agitador mecánico, que optimiza la adición de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas residuales, con diferentes dosis químicas, gradientes de velocidad y tiempo de sedimentación.³⁸

Figura 16. Equipo utilizado en la prueba de jarras



Espectrofotómetro. (SPECTRODIRECT). Este equipo funciona con un haz único (véase dibujo gráfico). La fuente de luz está compuesta por una lámpara halógena de wolframio con función destello. La lámpara se enciende corto tiempo¹ y solo durante la determinación. Por ello, no es necesario hacer un precalentamiento. El principio básicamente inicia cuando la luz llega a través de una rendija de entrada al monocromador; allí es disgregada en campos espectrales. El monocromador se compone de una rejilla transparente, producida holográficamente. Con los espejos móviles se enfoca automáticamente la luz de longitud de onda deseada, de tal forma, que ésta alcanza el compartimiento de medición a través de la rendija de salida atravesando la prueba acuosa. La luz, no absorbida por la prueba, será captada por el detector de un fotodiodo de silicio y analizada por el microprocesador y visualizándose en el display el resultado.

Este equipo se utilizará para las mediciones de turbiedad por Nefelométria y color aparente por longitud de onda simple.

³⁸ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. Pág 150.

Figura 17. Espectrofotómetro



pH-Metro (HACH HQ 40d). Este multiparámetro tiene una sonda con un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución. La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio durante el pH.

Una celda para la medida de pH consiste en un par de electrodos, uno de calomel (mercurio, cloruro de mercurio) y otro de vidrio, sumergidos en la disolución de la que queremos medir el pH. La varita de soporte del electrodo es de vidrio común y no es conductor, mientras que el bulbo sensible, que es el extremo sensible del electrodo, está formado por un vidrio polarizable (vidrio sensible de pH).³⁹

Figura 18. pH Metro



Termometro (TM Digital de Pinchar Rango -50 a 300°C) Este equipo mide la temperatura del agua, este factor físico es significativo en la variabilidad de los coeficientes de solubilidad de las sales y principalmente de los gases, afecta los

³⁹ WIKIPEDIA [base de datos en línea] (Octubre – noviembre2017).[citado el 20 de noviembre de 2017] disponible en < <https://es.wikipedia.org/wiki/PH-metro> >

valores de medición de la conductividad, del pH. Es un indicador adecuado en el conocimiento del origen del agua y de eventuales mezclas, etc.

Figura 19. Termómetro



Plan de laboratorio. De acuerdo a la metodología planteada anteriormente en el numeral 4.1.1 y con referencia a los parámetros críticos analizados en la caracterización, se realizaron 2 tomas de muestras compuestas de los 8 puntos y luego un integrado para unificar condiciones del afluente. En el capítulo 2 numeral 2.3.2 se detalla el monitoreo y las tomas de muestra compuestas de los 8 puntos y luego su integración. Esta metodología se realizó el día 30 de Agosto y el día 5 de septiembre del 2017.

Cuando las muestras ingresen al laboratorio se realizará la medición de los parámetros de Temperatura, turbiedad, pH, color y DQO antes y después de cada uno de los tratamientos definidos como mejores mediante cada test de jarras, con el fin de verificar la eficiencia de remoción de esta prueba.

Se debe tener en cuenta que se tomo un volumen de muestra de 20 Lt, para realizar 3 pruebas de jarras tomadas de 2 días, las cuales nos acercaran a una dosis optima de coagulante para el cumplimiento de la totalidad de la norma.

En el Anexo G se observa el diagrama de flujo del procedimiento con el cual se desarrollará toda la experimentación propia de la prueba de jarras.

Para iniciar todas las pruebas de jarras pertinentes y determinar el mejor tratamiento, se tomó una muestra de agua residual integrada de los 8 puntos de vertimiento de la ESE Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan de Dios el 30 de agosto del 2017 y el 5 de Septiembre del 2017 (ver figura 20). Se debe aclarar que la caracterización inicial del agua, descrita en el capítulo 2 fue realizada con una muestra de agua residual compuesta tomada el 12 de Agosto del mismo año, por tanto las condiciones del agua son diferentes, como se puede observar en la siguiente gráfica.

Figura 20. Toma de muestras



Al realizar las pruebas de Demanda química de Oxígeno de la muestra de agua con la que se llevaría a cabo la experimentación, se encontró que el valor inicial de este parámetro era de 249,76 mg/L.

4.1.2 Dosis óptima de coagulante. Con el objeto de establecer las condiciones óptimas para desarrollar la clarificación del agua a través del uso de químicos, se realizaron nueve (9) ensayos de jarras, en los cuales se simulaban las condiciones reales de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación; para ello se efectuaron varias pruebas en el laboratorio hasta obtener los porcentajes de remoción establecidos.

Para el test de jarras fue necesario tomar muestras representativas de agua en días hábiles diferentes, con el fin de observar las variaciones de DQO, turbiedad y pH que tiene el afluente.

Para realizar el análisis de las muestras fue necesario tomarlas 24 horas antes de sus análisis, esto se realiza con el fin de que el agua no pierda sus propiedades físicas y químicas que serán analizadas. Para el inicio de la prueba se prepararon 3 soluciones de los 3 coagulantes escogidos para la experimentación.

Para realizar los ensayos de jarras se adelantó el siguiente procedimiento:

1. Se agregó 1 L de agua a cada vaso de precipitado
2. Previamente se elige el coagulante y se especifican las dosis que serán añadidas en cada jarra
3. Se ajusta el equipo de jarras para una velocidad de agitación de 100 RPM
4. mezcla rápida 1 minuto a 100 RPM.

5. Mezcla lenta por 20 min a 40 RPM
6. Sedimentación durante 20 minutos.
7. Al finalizar la sedimentación se evalúa la eficiencia de cada jarra en función del tamaño del floc producido y se realizan las mediciones de DQO, pH y turbiedad remanente.

Para los análisis de la primera muestra de agua la medición de DQO fue de 249,76 mg/L, el pH inicial fue de 7,5 y turbiedad inicial de 12,68 NTU, posteriormente se realizó el test de jarras a partir del cual se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

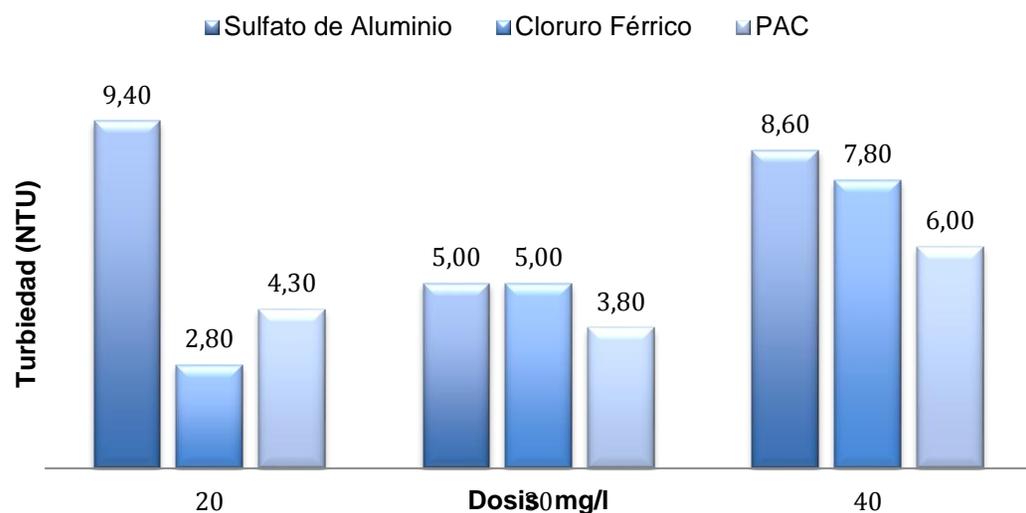
Tabla 17. Resultados de el primer ensayo de Coagulantes

PRIMER ENSAYO						
Coagulante	Jarras	Dosis (mg/L)	pH final	Turbiedad Final NTU	Turbiedad Inicial	% Remocion
SULFATO DE ALUMINIO	1	20	6,72	9,40	12,68	25,9%
	2	30	6,37	5,00		60,6%
	3	40	6,61	8,60		32,2%
CLORURO FERRICO	4	20	6,41	2,80		77,9%
	5	30	6,33	5,00		60,6%
	6	40	6,36	7,80		38,5%
PAC	7	20	6,34	4,30		66,1%
	8	30	6,67	3,80		70,0%
	9	40	6,52	6,00		52,7%

Fuente: Universidad del Quindío Pruebas de jarras Octubre 2017

A continuación se evidencia que la menor turbiedad la tuvo la concentración de 20 mg/L de Cloruro férrico y un % de remoción de 77,9%

Gráfica 18. Turbiedad obtenida con las diferentes dosis (Ensayo1)



Al realizar las pruebas del test de jarras, fue necesario hacer 3 ensayos para escoger el coagulante óptimo. Se utilizaron los 3 coagulantes en 2 ensayos y luego

se establecieron mezclas entre ellos para identificar comportamientos y establecer diferencias. Cada ensayo se construye por 6 vasos de precipitado con 1 L de agua, donde a cada uno se añadió una dosis específica de coagulante como se observa en la tabla 19.

Revisando el comportamiento de los coagulantes En la tabla 20 y el gráfico , se identificó que el coagulante óptimo es el cloruro férrico, porque se observaron los mejores resultados con respecto al tamaño y cantidad de floc, la disminución de la turbiedad en el agua después de los 20 minutos de sedimentación, fue favorable y cumple con la normatividad vigente, mientras que en el ensayo con PAC hubo formación de floc, pero en menor tamaño y cantidad con respecto al cloruro férrico, de igual forma la turbiedad disminuyo pero quedaban partículas suspendidas después de la sedimentación. El ensayo con Sulfato de aluminio fue el menos favorable de acuerdo con los resultados. debido a que el floc formado era muy pequeño por lo que después de la sedimentación este no precipito, quedando suspendido y bajando poco los niveles de turbiedad.

La segunda muestra de agua fue tomada el día 30 de Agosto del 2017, la medición de DQO fue de 272,28 mg/L, el pH inicial fue de 7,89 y turbiedad inicial de 20,61 NTU, posteriormente se realiza el test de jarras donde se obtiene la siguiente tabla de resultados:

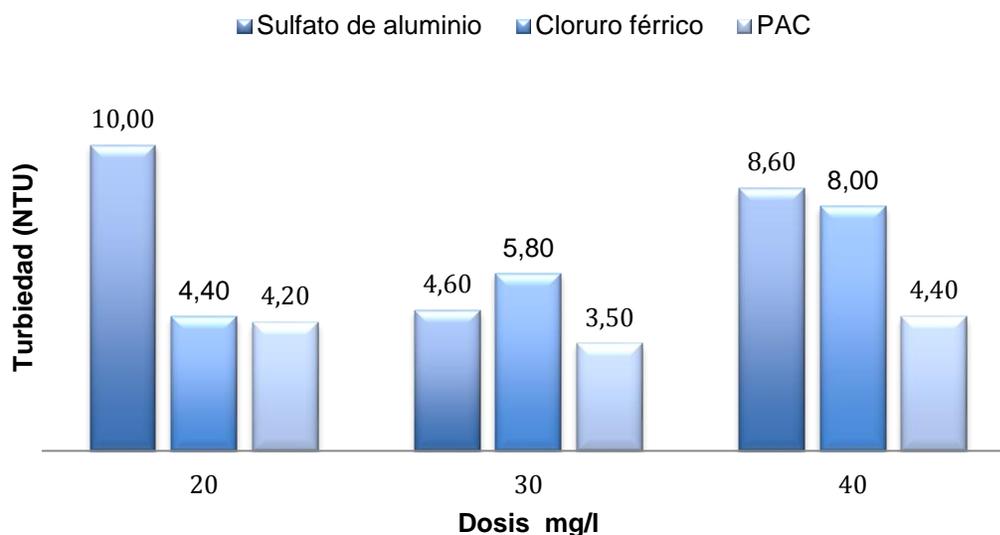
Tabla 18. Resultados del segundo ensayo de Coagulantes

SEGUNDO ENSAYO						
Coagulante	Jarras	Dosis (mg/L)	pH final	Turbiedad Final NTU	Turbiedad Inicial	% Remocion
SULFATO DE ALUMINIO	1	20	6,74	10,00	20,61	51,5%
	2	30	6,53	4,60		77,7%
	3	40	6,08	8,60		58,3%
CLORURO FERRICO	4	20	6,38	4,40		78,7%
	5	30	6,47	5,80		71,9%
	6	40	6,53	8,00		61,2%
PAC	7	20	6,74	4,20		79,6%
	8	30	6,53	3,50		83,0%
	9	40	6,08	4,40		78,7%

Fuente: Universidad del Quindío Pruebas de jarras Octubre-2017

A continuación se observa que la menor turbiedad la tuvo la concentración de 30 mg/L de PAC con un porcentaje de remoción de 83% y en la prueba anterior fue Cloruro Férrico con un 77,9% y una concentración de 20 mg/L, de acuerdo a esto se puede deducir que ambos coagulantes pueden ayudar a la clarificación del agua residual y por consiguiente al sistema de tratamiento.

Gráfica 19. Turbiedad obtenida con las diferentes dosis (Ensayo 2)



El comportamiento de los coagulantes tuvo variación con respecto a la primera muestra en cuanto a dosificaciones y porcentaje de remoción. Se evidencia ahora, que el coagulante óptimo es el PAC con una dosificación de 30 mg/L.

Ahora realizando una comparación de % de remoción por dosis de coagulante a diferentes turbiedades, se observa que el porcentaje promediomás grande de remoción es del Cloruro férrico con una dosificación de 20 mg/L.

Tabla 19. Estadística de los ensayos 1 y 2

Coagulante	Dosis (mg/L)	Primera Prueba	Segunda Prueba	PROM	
Sulfato de Aluminio	20	25,9%	51,5%	38,7%	51,0%
	30	60,6%	77,7%	69,1%	
	40	32,2%	58,3%	45,2%	
Cloruro férrico	20	77,9%	78,7%	78,3%	64,8%
	30	60,6%	71,9%	66,2%	
	40	38,5%	61,2%	49,8%	
PAC	20	66,1%	79,6%	72,9%	71,7%
	30	70,0%	83,0%	76,5%	
	40	52,7%	78,7%	65,7%	

Fuente: Universidad del Quindío Pruebas de jarras Octubre-2017

Pero al hacer la comparación vemos la variabilidad de las pruebas en la tabla 24, mostrando una efectividad mayor para PAC con un intervalo de (66-73%), seguido del cloruro férrico con (50-78%) y por último Sulfato de aluminio con (39-69%).

Las nuevas dosis de coagulantes, fueron definidas, en base a tesis previamente

realizadas y análisis de varios estudios para valores de turbiedad parecidas.⁴⁰ Con mayor efectividad cuando son mezclados los coagulantes.

A continuación se realiza un ensayo para la mezcla aleatoria entre coagulantes de 20mg/l de la siguiente forma:

Tabla 20. Composición de la mezclas de Coagulante para el tercer ensayo

Coagulante (mg/L)			
Jarras	Sulfato de Aluminio	Cloruro Férrico	PAC
1	10	10	0
2	0	10	10
3	10	5	5
4	10	6	4
5	6	4	10
6	4	10	6

Fuente: Universidad del Quindío Pruebas de jarras Octubre-2017

Jarra 1: 50% de Sulfato de aluminio y 50% de cloruro férrico.

Jarra 2: 50% de cloruro férrico y 50% de PAC

Jarra 3: 50% Sulfato de Aluminio, 25% de cloruro férrico y 25% de PAC

Jarra 4: 50% Sulfato de Aluminio, 30% Cloruro férrico y 20% PAC

Jarra 5: 30 % Sulfato de Aluminio, 20% Cloruro férrico y 50% PAC

Jarra 6: 20% Sulfato de Aluminio, 50% Cloruro férrico y 30% PAC

Figura 21. Medición de volumen muestra Inicial



En cuanto al tercer ensayo se obtuvieron valores iniciales de DQO de 255,81 mg/l, una turbiedad de 22,3 NTU y un pH inicial de 7,3. A continuación se muestran los resultados de las pruebas.

⁴⁰ Badeock, R.H and Knowlton,K,F. Conductivity-difference Control of Chemical Coagulation JAWWA,57,363(1965)

Tabla 21. Resultados del tercer ensayo

TERCER ENSAYO				
Jarras	pH final	Turbiedad Final NTU	Turbiedad Inicial	% Remocion
1	6,62	4,08	22,3	81,7%
2	6,71	4,75		78,7%
3	6,94	2,92		86,9%
4	6,42	2,57		88,5%
5	6,93	3,14		85,9%
6	6,99	3,91		82,4%

Fuente: Universidad del Quindío Pruebas de jarras Octubre-2017

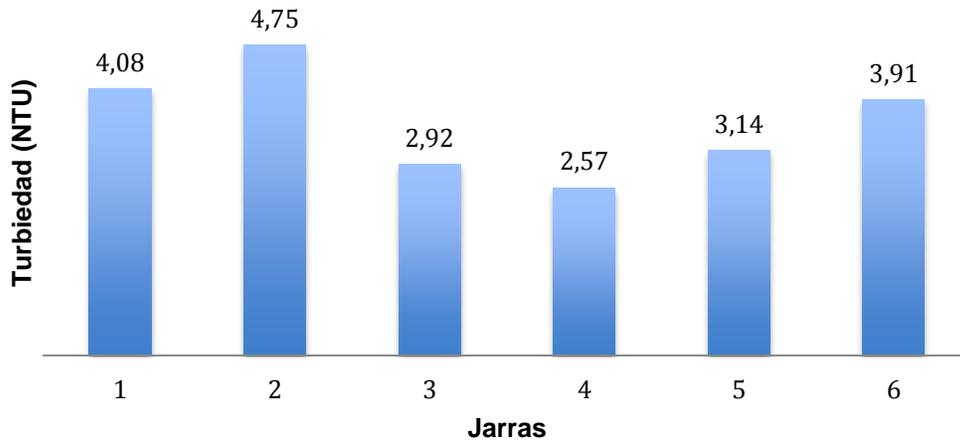
La menor turbiedad se observa en la siguiente gráfica para la Jarra 4, que tenía 10mg/l de Sulfato de Aluminio, 6mg/L de Cloruro Férrico y 4 mg/L de PAC, con un 88,5% de remoción.

Figura 22. Sedimentación de muestras



No hay una evidencia comparable de medición visual entre las muestras del ensayo 3 de mezclas de coagulantes; pero si hay una diferencia notable con el color de la turbiedad inicial de la Figura 21.

Gráfica 20. Valores de turbiedad ensayo 3



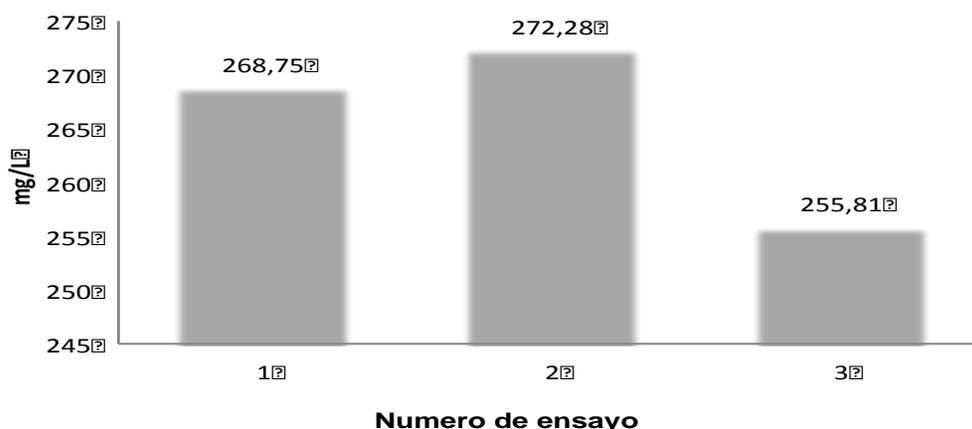
Realizadas estas pruebas y logrando un resultado satisfactorio de dosis óptima de coagulante se procede a realizar una comparación de pruebas de DQO de las muestra de agua para analizar la variación y efectividad del coagulante.

Tabla 22. Valores de DQO de los diferentes análisis

Año	Condiciones iniciales de las muestras			
	2016	2017		
Pruebas DQO (mg/l)	Diciembre	Ago-12	Ago-30	Sept-05
	-	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
	233,92	268,75	272,28	255,81

En la gráfica 53 se evidencia la variabilidad que tiene este parámetro; primero en una caracterización realiza por LAIMAQ en el 2016, segundo la caracterización del capítulo 2 realizada por ANTEK S.A.S, tercera la muestra de experimentación del 30 de agosto y cuarto la muestra de experimentación del 5 de septiembre. De acuerdo a esto la variación de DQO no es alta y el promedio de estas mediciones es de 257,69 mg/L dentro del rango contemplado en la caracterización como parámetro crítico⁴¹.

Gráfica 21. Valores de DQO iniciales de los 3 ensayos



Ahora se hace el comparativo para determinar la disminución en DQO de las muestras para el cumplimiento de la normatividad.

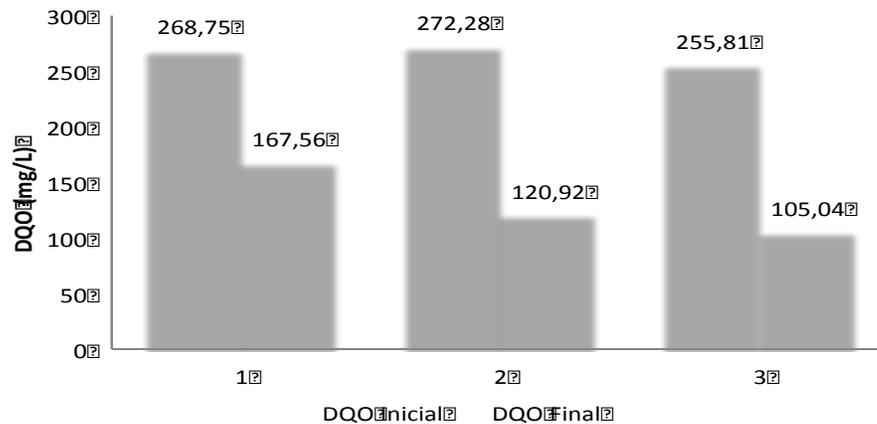
⁴¹ Informe de caracterización ANTEK 2017

Tabla 27. Valores de DQO de muestras

Ensayo	Condiciones finales de las muestras		
	1	2	3
Pruebas DQO (mg/l)	Ago-12 167,56	Ago-30 120,92	Sep-5 105,04
% Remoción	38%	56%	59%

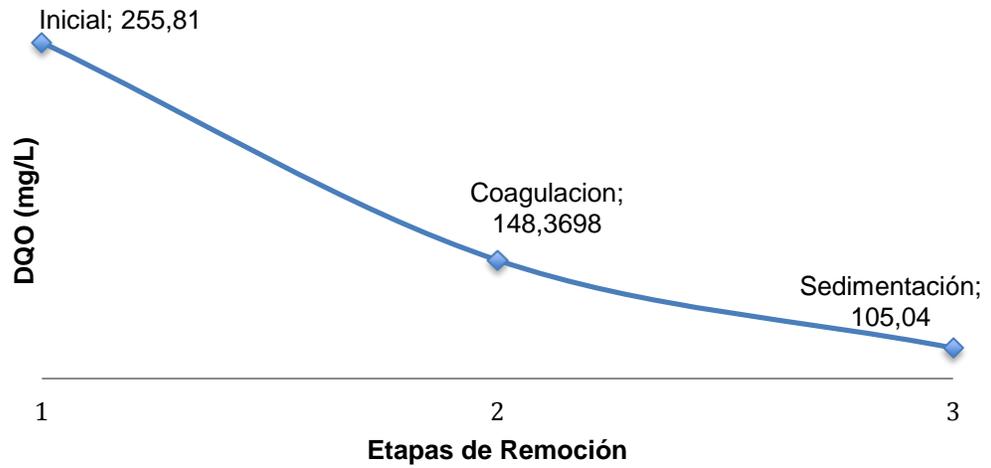
Finalmente se observa los porcentajes de remoción de materia orgánica en los tres ensayos realizados, obteniendo una similitud en los porcentajes de remoción de turbiedad.

Gráfica 22. Comparación de mediciones de DQO iniciales y finales



La mayor diferencia de valores esta en la muestra experimental 3 que pertenece a la Jarra 4 del tercer ensayo, con la formulación de 10, 6 y 4 mg/L de Sulfato de aluminio, Cloruro férrico y PAC respectivamente. Estos resultados son suficientes para el cumplimiento de la norma, por lo cual no se realiza la experimentación para la operación unitaria de filtración.

Gráfica 23 Curva de remoción DQO



Revisando los resultados de la alternativa, se puede concluir que el proceso de clarificación del efluente es muy efectivo para la remoción de la DQO representando la operación unitaria más importante dentro del tratamiento del agua residual domestica, removiendo aproximadamente un 75% de dicho parámetro con respecto al valor del agua residual sin tratamiento.

5. ESPECIFICACION DE EQUIPOS

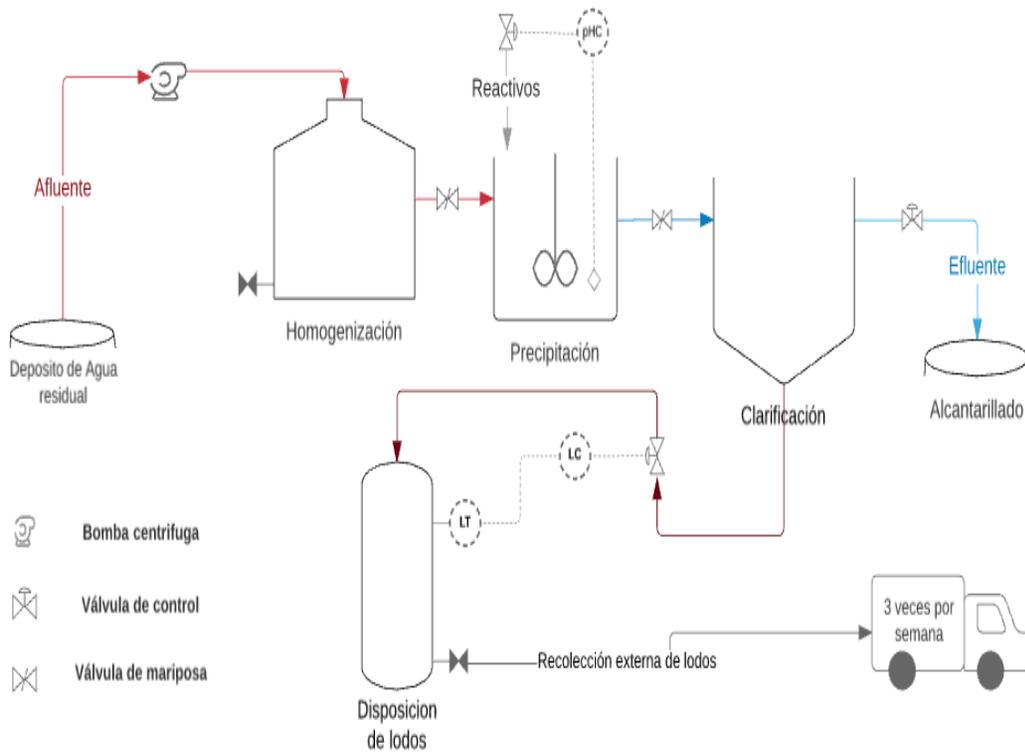
Encontradas la alternativa óptima de operación en el tratamiento de aguas residuales de la ESE Hospital Departamental del Quindío San Juan de Dios , y de acuerdo a los resultados registrados en la experimentación de la alternativa seleccionada, es necesario especificar técnicamente la planta de tratamiento y cumplir con la norma actual y los objetivos propuestos en el inicio del proyecto de grado.

De acuerdo con la alternativa las operaciones unitarias que se realizarán secuencialmente para el desarrollo de la planta de tratamiento son una trampa de grasas, seguida de la homogenización, una coagulación-floculación y por último un proceso de filtración con arena. La figura 20 representa la propuesta de equipos necesarios para el proceso de tratamiento del afluente del hospital.

5.1 DIAGRAMA DE EQUIPOS

En la figura se muestra un bosquejo del proceso propuesto para el tratamiento de aguas residuales del Hospital.

Figura 23. Diagrama del sistema de tratamiento



5.1.1 Trampa de grasas.. La trampa de grasas con la que cuenta el Hospital no puede ser modificada, debido a que la ubicación de la misma no favorece el tratamiento, por tal motivo se deben diseñar 2 trampas de grasas, una en el punto de “descarga de locales” y otra como sistema preliminar a la planta con la ayuda de una rejillas para evitar el paso de sólidos gruesos.

La trampa de grasa retiene las grasas y aceites vertidos por los locales ubicados en el Hospital que flotarán, mientras el agua clarificada sale por una descarga inferior, también pueden usarse los sedimentadores primarios como sistemas de remoción de grasas, en dicho caso debe asegurarse que exista la capacidad de almacenamiento y los dispositivos mecánicos que permitan la evacuación del sobrenadante de forma segura y oportuna para evitar interferencias en los procesos posteriores y generación de olores por acumulación prolongada.⁴²

- **Cálculo trampa de grasas 1 punto “descarga de locales”.** Esta trampa de grasas se ubica justo después de el punto “descarga de locales” que recibe las aguas de los locales comerciales.

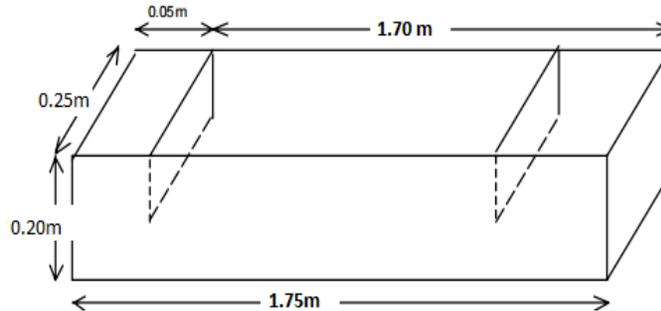
Calculo de las dimensiones (V)⁴³

Parámetro	Sigla	Valor	Unidad
Volumen	V	0.15	m ³
Tiempo de retención	Tr	3	Min
Área superficial	As	0.20	m ²
Altura	h	0.20	M
Borde libre	BL	0.25	M
Base	b	0.25	M
Longitud	L	1.75	M
Distancia bafles – tanque	-	0.10	M
Altura bafles	-	0.23	M

⁴² ROMERO ROJAS Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teorías y principios de diseño. Escuela colombiana de ingeniería julio garavito.2008, p1090.

⁴³ Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título E Tratamiento de aguas residuales

Figura 24. Tanque Homogenizador



- **Cálculo trampa de grasas 2 “Preliminar PTAR”**

Para esta trampa de grasas se tendrá en cuenta el mismo diseño de la trampa de grasas 1 “punto descarga de locales” debido a que son las especificaciones mínimas de diseño.

5.1.2 Tanque Homogenizador. El tanque de homogenización es el encargado de regular los caudales de los diferentes puntos de vertimiento o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales, mediante tanques de forma arbitraria o irregular con capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobrepasa un determinado valor. Para calcular el diámetro del tanque inicial es necesario tomar el volumen producido por un día para abarcar la capacidad total del agua residual.

En el capítulo 2 se realiza el balance hídrico para estimar el valor de vertimiento y en el capítulo 3 se calcula el caudal de diseño con respecto al último año, sin embargo, para efectos de cubrimiento de la capacidad de proyección, el caudal utilizado en los cálculos será el caudal promediado de los caudales de los puntos de vertimiento y considerando un incremento anual del 5%, un factor de seguridad de 15%, por lo tanto el volumen final del diseño del tanque está calculado por método gráfico.

Los compuestos que están presentes en el tanque no son corrosivos por lo cual, el material de elaboración de este será polipropileno o fibra de vidrio. De acuerdo al volumen teórico de un tanque y teniendo en cuenta la relación h/D se deja la ecuación en función del diámetro y se despeja, como se muestra a continuación:

Ecuación A Volumen tanque homogeneizador.

$$V_{\text{tanque}} = 7.12 \text{ m}^3 + (7.12 \text{ m}^3 * 0,15) = 8.18 \text{ m}^3$$

Ecuación B Volumen de un cilindro

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} * D^2 * h$$

Donde: D= Diametro y h=Altura

Teniendo en cuenta que la relación h/D es de 1,5 la ecuación 10, se expresa en función del diámetro así:

Ecuación C. Diámetro del tanque homogenizador

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{tanque}}{1,5 * \pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 8,18 \text{ m}^3}{1,5 * \pi}} = 1,90 \text{ m}$$

Ecuación D. Altura del tanque homogenizador

$$h = D * 1,5$$

$$h = 1,90 \text{ m} * 1,5 = 2,86 \text{ m}$$

El agitador del homogeneizador es dimensionado para un tanque cuyo diámetro es 1.90 m y una altura de 2.86m. Las consideraciones de diseño del equipo fueron tomadas de la literatura⁴⁴. Suponiendo que:

$$\frac{1,90 \text{ m}}{d} = 3 \quad y \quad \frac{h}{d} = 1$$

Entonces d= 0,63m y h= 0,63m. La velocidad de rotación es de 100rpm es decir 1,7rps entonces la potencia requerida es:

Ecuación E. Potencia requerida

$$P = K_p N^3 d^5$$

En donde $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ y K es una constante que equivale a 6,30. Reemplazando los datos en la ecuación 7 la potencia sería:

$$P = 6,30 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1,7 \text{ rps})^3 * 0,63^5 = 640 \text{ w}$$

⁴⁴ ROMERO ROJAS Jairo Alberto. Acuarificación. Diseño de sistemas de purificación de agua. Editorial escuela colombiana de ingeniería. 1995 ,p 52-56

Con una eficiencia del mezclado del 75%

$$P = \frac{640 \text{ W}}{0.75 * 1000} = 0.853 \text{ KW es decir } 1.14 \text{ HP}$$

Los resultados y a las consideraciones tomadas de la literatura se puede calcular la longitud de la paleta del impulsor de la siguiente manera según la ecuación 8.

Ecuación F. Longitud de la paleta del impulsor

$$r = \frac{d}{4}$$

$$r = \frac{0.63}{4} = 0.15 \text{ m}$$

El diámetro del disco central se calcula de la siguiente manera:

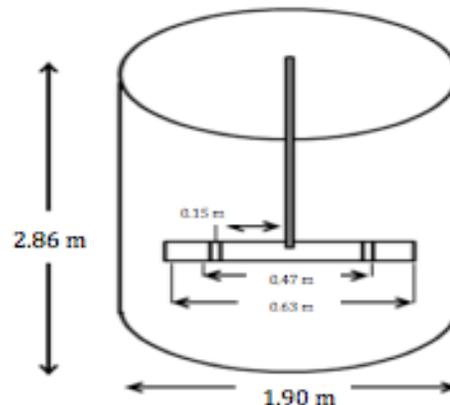
Ecuación G. Diámetro del disco

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

$$S = \frac{1.90}{4} = 0.47 \text{ m}$$

A continuación en la figura 25 se grafica el tanque homogeneizador.

Figura 25. Tanque Homogeneizador



5.1.3 Sedimentador. El sedimentador es un componente clave de muchos sistemas de tratamiento de aguas residuales porque ayudan a eliminar los contaminantes y concentrarlos en los lodos.

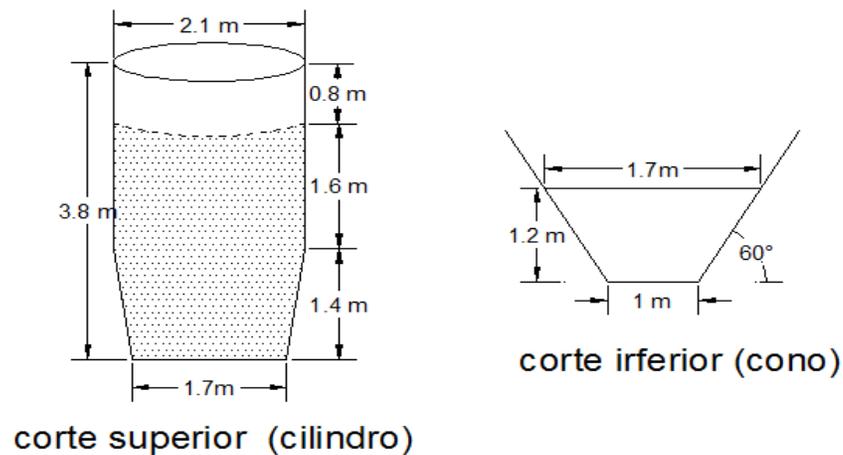
Por supuesto, como todas las soluciones de aguas residuales, si el sedimentador

no están correctamente diseñado para sus requerimientos y combinados con los componentes adecuados, no van a hacer bien su trabajo.

A continuación se mencionan las características cuantitativas de un sedimentador con los requerimientos propuestos.⁴⁵

Parámetro	Sigla	Valor	Unidades
Área mayor	As	3.6	m ²
Tasa superior 1	Ts1	0.8	m/h
Diámetro superior	Ø	2.1	M
Área menor	Am	2.3	m ²
Tasa superficial 2	Ts2	0.12	m/h
Volumen total sed	V	11.6	m ³
Tiempo retención	tr	4	H
Altura cilindro	hc	1.6	M
Borde libre	BL	0.67	M
Volumen cilindro	Vc	5.9	m ³
Altura cono	H	1.4	M
Volumen cono	Vef	5.7	m ³

Figura 26. Diseño del sedimentador



⁴⁵ Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título E Tratamiento de aguas residuales

6. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN

En este capítulo se especifican los costos del tratamiento de aguas residuales del Hospital con respecto a costos de operación, costos de inversión tanto en servicios como en mano de obra y contratación de personal capacitado y especializado. Con estos parámetros se obtendrá un valor aproximado de la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, para así, en un futuro observar el impacto económico que tendrá la empresa con esta alternativa.⁴⁶

6.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Para realizar una presentación estimada de costos de inversión iniciales, se debe considerar el valor individual de cada equipo instalado en la planta. La tabla 31 representa el costo de cada uno de estos equipos, que están basados de acuerdo al resultado del área calculada en el capítulo anterior de dimensionamiento de equipos.

Las siguientes ecuaciones representan el cálculo de las áreas de los equipos para saber su respectivo costo unitario.

Ecuación H. Área del tanque homogenizador⁴⁷

$$A = 2\pi r (h + r)$$

$$A = 2\pi * \frac{1,9}{2}m \left(2,86 m + \frac{1,9}{2}m \right)$$

$$A = 22,0 m^2$$

Ecuación I. Área del sedimentador

$$A = 2\pi r (h + r)$$

$$A = 26,7 m^2$$

De acuerdo a los resultados del dimensionamiento de cada equipo de la alternativa seleccionada, el material apropiado para todos los equipos es polietileno de alta densidad que es uno de los más utilizados en la industria. El costo de este material por metro cuadrado es de 20 US/m². El valor final de cada equipo es representado en la tabla que se muestra a continuación.⁴⁸

⁴⁶ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundación Universidad America. P. 127

⁴⁷ Ibid., p.128

⁴⁸ Ibid., p.129

Para efectos de análisis de costos el valor aproximado del dólar es de 2963COP/m².

Tabla 23. Costo de equipos

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO(\$)
Tanque homogenizador	1	\$1.303.720
Tanque clarificador	1	\$1.582.242
Bomba dosificadora de diafragma	1	\$1.200.000
Válvula de mariposa	2	\$194.880
Bomba centrifuga	2	\$338.000
	TOTAL	

Nota: las cotizaciones de las bombas dosificadoras, las válvulas de mariposa y las bombas centrifugas se encuentran en el anexo I.

6.2 COSTOS DE OPERACIÓN

En cuanto a costos de operación se presenta viabilidad en la propuesta, debido a que su implementación está aterrizada en ceunato a costos que corresponden a insumos, material prima, consumos de servicios en energía eléctrica y costos en personal requerido para la operación de la planta.

En el desarrollo experimental de la alternativa seleccionada se especifica la dosis necesaria para llevar a cabo de manera óptima el tratamiento.

La tabla 32 se presentan los valores de cada uno de los insumos utilizados para este tratamiento y su presentación en el mercado actual. Para especificar estos costos de operación en la entidad se calcula el valor anual y mensual que se requiere y así observar la viabilidad que sustentan estos costos de operación.⁴⁹

Tabla 24. Costos de materia prima

Insumo	Costo (COP)	Cantidad	DOSIS		Costo	
			Mensual	Anual	Mensual	Costo anual
SULFATO DE ALUMINIO CLOLURO FÉRRICO	\$36.300	25 Kg	5,0696	55,7656	\$168.691	\$2.024.291
PAC	\$98.700	25 Kg	2,0276	22,3036	\$183.447	\$2.201.365
		TOTAL			\$584.390	\$7.012.675

⁴⁹ Ibid., p.128

Costos de servicios (Energía eléctrica). En la tabla 33 se muestran los consumos de energía con respecto a las bombas utilizadas y su potencia. La planta por encontrarse en una zona residencial y de acuerdo a los datos actualizados de la edeq⁵⁰, la tarifa que se le da a este sector es de 495,08 (COP/kWh).

Tabla 25. Costo de servicios

Equipos	Unidades	Consumo (kW/h)	Consumo Anual (Kw/Año)	Costo Mensual	Costo Anual
Bomba centrífuga	1	1,13	9865	\$ 404.461	\$4.853.531
Bomba dosificador a de diafragma	1	0,043	380	\$ 15.564	\$186.763
TOTAL				\$420.025	\$5.040.294

Para los costos de personal se recomienda contratar una persona encargada del funcionamiento de la planta de tratamiento. En la tabla que se presenta a continuación se resumen todos los gastos que puede incluir esta persona para la empresa. Según la PUC⁵¹ el salario mínimo mensual vigente para el 2017 es 704.455 COP. El tiempo de trabajo en la planta es de 11 meses por lo tanto se establece el dato base para el cálculo de la mano de obra.⁵²

Tabla 26. Costo de mano de obra para un operario SMMLV

Item	Valor Mensual (COP)	Valor Anual (COP)
Auxilio de transportes	\$77.700	\$854.700
Vacaciones⁵³	\$28.727	\$315.997
Cesantías	\$63.930	\$703.230
Intereses a las cesantías	\$7.672	\$84.392
Prima de servicios	\$63.930	\$703.230
Salud	\$86.182	\$948.002
Pension	\$110.313	\$1.213.443
Dotación	\$60.000	\$660.000

⁵⁰ Tarifas de energía eléctrica reguladas por la comisión de regulación de energía y gas. (CREG)SEPTIEMBRE 2017. (en línea). Citado el 03 de octubre 2017. Web < <https://www.edeq.com.co/hogar/tarifas>>

⁵¹ SALARIO MINIMO PARA EL 2017. (en línea).citado el 03 de octubre 2016. Web <http://puc.com.co/2016/01/salariominimo-2017>

⁵² Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. P. 127

⁵³ 4 DUQUE MOSQUERA, CESAR AUGUSTO. CONSULTAS LABORALES. Salarios y prestaciones sociales año 2016. Citado 04 de octubre 2016. Web < http://consultaslaborales.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=441:2015-12-30-00-49-00&catid=1:laboral&Itemid=86

ARL y riesgo IV	\$30.000	\$330.000
TOTAL	\$1.217.909	\$13.396.999

6.3 COSTOS TOTALES

En la tabla 30 se reúnen los costos de inversión, funcionamiento y materia prima mensuales y anuales para el sistema de tratamiento.

Tabla 27. Costos totales

PÁRAMETRO	VALOR MENSUAL (COP)	VALOR ANUAL (COP)
INVERSION DE EQUIPOS	\$0	\$5.151.722
MATERIA PRIMA	\$637.516	\$7.012.675
SERVICIOS	\$458.209	\$5.040.294
PERSONAL	\$1.217.909	\$13.396.999
TOTAL	\$2.313.633	\$30.601.690

En estos costos no se incluye la instalación de los equipos y se estima un valor de 30'601.690 COP para el primer año de funcionamiento, a partir del segundo año se realiza la compra de insumos, servicios, mano de obra y mantenimiento por 2'313.633 COP mensuales.⁵⁴

Al no desarrollar un buen tratamiento de vertimiento de aguas residuales, sin los requerimientos de la resolución 0631 del 2015 la empresa corre el riesgo de ser sancionada con un monto considerable y su posterior sellamiento.

⁵⁴ Bello C. Julieth y Ortiz N. Mauricio A. Diseño conceptualde una planta de tratamiento de aguas residuales para pelikan Colombia S.A.S. Fundacion Universidad America. P. 101

7. CONCLUSIONES

- Se realiza el diagnóstico actual del agua residual del hospital, conociendo así las condiciones y los parámetros críticos, comparados con los límites máximos permisibles por la resolución 0631; por lo cual se determina que los parámetros de DB, DQO y Sólidos Suspendidos Totales deben tener un estudio, analizar su comportamiento e implementar una alternativa de tratamiento.
- Se proponen tres opciones de tratamiento adecuadas para el sistema de tratamiento de aguas residuales del hospital y mediante de una matriz de selección se elige el tratamiento más adecuado para la implementación de la planta y su evaluación experimental, por medio de ensayos a nivel laboratorio.
- Experimentalmente con 3 ensayos de coagulantes se elige la mezcla de Sulfato de Aluminio, cloruro férrico y PAC al 10 (Jarra 4. Ensayo 3), con su respectiva formulación.
- Se determina que en el proceso de clarificación del agua residual proveniente de la ESE Hospital Departamental Universitario del Quindío San Juan De Dios en el test de jarras tuvo un porcentaje de remoción de DQO de 59%.
- Se especifican las dimensiones de cada uno de los equipos involucrados para el diseño e implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, obteniendo el diseño de equipos tales como: trampa grasas, tanque homogeneizador y sedimentador.
- Se estiman los costos totales (inversión y operación) de la propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ESE hospital Departamental del Quindío San Juan de Dios por un valor de \$30'601.690 COP.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar monitoreos con pruebas de rutina para la estandarización de condiciones de operación de la alternativa propuesta con el objetivo de cumplir con la Resolución 0631 de forma permanente.
- Proponer alternativas para la disposición de los sólidos generados durante el tratamiento del efluente de la ESE Hospital Departamental Universitario San Juan de Dios.
- Anexar al PGIRS el procedimiento para los lodos producidos por el sistema de tratamiento, que se deben tratar por un ente externo.
- Determinar de forma teórica la cinética de las reacciones posibles en cada etapa del proceso de clarificación

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, M. I. Tratamiento físico – químico de aguas residuales: Proceso de clarificación del agua residual. España: Universidad de Murcia 2002.

ANTEK S.A.S, Informe de Monitoreo y Caracterización de Agua Residual, Colombia, Bogotá D.C, 2015.

BELLO C. JULIETH Y ORTIZ N. MAURICIO A. DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PELIKAN COLOMBIA S.A.S. FUNDACION UNIVERSIDAD AMERICA. 2016

HOSPITAL DEPARTAMENTAL UNIVERSITARIO DEL QUINDÍO SAN JUAN DE DIOS. Informe Consumos Hídricos 2016-2017, Armenia-Quindío. 2014.

HOSPITAL DEPARTAMENTAL UNIVERSITARIO DEL QUINDÍO SAN JUAN DE DIOS Planos hidrosanitarios, Bogotá D.C. 2016.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: en instituto, 2008, p.1.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: el instituto, 2008, p.13.

_____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto, 1998, p.12.

MARTINEZ, EC. LOPÉZ, GD. Tratamiento Químico de Contaminantes Orgánicos – El Proceso Fenton. Disponible en internet <<http://www.cepis.org.p/bvsaidis/argentina14/martinez.pdf>>

METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. México. D.F. McGraw-Hill, 1995. P. 620-645.

METCALF & EDDY. Ingeniería de las aguas residuales (vol. I), Madrid: McGraw-Hill. 1995

PERRY H, Robert. Manual del Ingeniero Químico, Sexta edición, México: McGraw-Hill, 2006.

Resolución 0631 17 de marzo del 2015 —Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantatillado público y se dictan otras

disposicionesll

ROMERO ROJAS Jairo Alberto, Tratamiento de Aguas Residuales - Teoría y Principios de Diseño – Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

ROMERO ROJAS Jairo Alberto, Tratamiento de Aguas Residuales - Teoría y Principios de Diseño – Escuela Colombiana de Ingeniería, 1092.

ROMERO ROJAS Jairo Alberto, Tratamiento de Aguas Residuales - Teoría y Principios de Diseño – Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008,1093.

UGUR Kurt, Treatability of water-based paint wastewater with Fenton pronceess in Different Reactor Types- Chemosphere- Septiembre 2006.

USEPA. Construction Cost for Municipal Wasterwater Treatment Plants: 1973-1978, EPA/430/980003, April 1980