



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

**INVESTIGACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE CHÍA-CUNDINAMARCA**

EDGARD SEBASTIÁN PARDO MARTÍNEZ

HERNÁN DANILO LÓPEZ MEDINA



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2020**

**INVESTIGACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE CHÍA-CUNDINAMARCA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DIRECTOR DEL PROYECTO:
NOMBRE: JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO
MÁSTER EN RECURSOS HÍDRICOS**

PRESENTADO POR:

EDGARD SEBASTIÁN PARDO MARTÍNEZ CÓD: 506599

HERNÁN DANILO LÓPEZ MEDINA CÓD: 506507



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2020**

Nota de aceptación

Director de proyecto
Ing. M.Sc. Jesús Ernesto Torres Quintero

Jurado 1

Agradecimiento

Nuestra gratitud a la vida y a nuestras familias que han apoyado incansablemente nuestro camino, sin olvidar aquellos docentes que sembraron el gusto y la responsabilidad de la profesión

Agradecimiento a Sofía Arias Mateus
por su apoyo y motivación
“Sebastián”

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO	6
1. INTRODUCCIÓN	13
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
4. ANTECEDENTES.....	15
5. JUSTIFICACIÓN.....	18
6. MARCO TEÓRICO	19
6.1. LOCALIZACIÓN GENERAL	19
6.2. HIDROGRAFÍA DE CHÍA	20
6.3. CUENCA RÍO BOGOTÁ.....	20
6.4. PROCESOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PSTAR-1 Y PSTAR-2)	21
6.5. LODOS ACTIVADOS	22
6.6. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS	23
7. MARCO CONCEPTUAL	24
8. MARCO LEGAL.....	16
9. ESTADO DEL ARTE.....	18
10. OBJETIVOS	22
10.1. GENERAL	22
10.2. ESPECÍFICOS	22
11. ALCANCE Y LIMITACIONES	23
11.1. ALCANCE	23
11.2. LIMITACIONES	23
12. METODOLOGÍA	24
13. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y CÁLCULO DE CAUDALES	27
13.1. MÉTODO ARITMÉTICO	27
13.2. MÉTODO GEOMÉTRICO.....	29

13.3. MÉTODO EXPONENCIAL.....	31
13.4. PROMEDIOS HABITANTES	32
13.5. CÁLCULO DE DOTACIÓN	32
13.5.1. DOTACIÓN NETA	33
13.5.2. DOTACIÓN BRUTA.....	33
13.6. CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)	34
13.7. CAUDAL DE INFILTRACIÓN (Qi).....	34
13.8. CAUDAL DE DISEÑO (QD):.....	35
13.9. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (QMD).....	35
13.10. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH).....	36
14. ANÁLISIS INTEGRAL DE CAUDALES MUNICIPIO DE CHÍA	36
15. DIAGNÓSTICO PTAR CHÍA I.....	38
16. PROPUESTA TÉCNICA DE MEJORAMIENTO.....	39
16.1. DESBASTE	41
16.1.1. DISEÑO DE CANAL DE ENTRADA	41
16.2. REJILLA	42
16.3. CANALETA PARSHALL	45
16.4. DESARENADOR.....	48
16.5. REACTOR BIOLÓGICO	57
16.6. DECANTACIÓN SECUNDARIA	65
16.7. CLORACIÓN	68
16.1. MODELO PROPUESTA TÉCNICA.....	71
17. CONCLUSIONES	73
18. RECOMENDACIONES.....	74
19. BIBLIOGRAFÍA.....	75
20. ANEXO 1 PLANOS.....	78
21. ANEXO 2 HOJAS DE CÁLCULO.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:desbordamiento del río Bogotá, variante entre Teletón y chía, diciembre 5,2011 5:35 am	14
Ilustración 2: PTAR I, noviembre 12, 2018.....	15
Ilustración 3: Vista en planta PTAR 2	16
Ilustración 4 :Clasificación general de territorio. Plano No. CG-01	19
Ilustración 5: Clasificación de cuenca	20
Ilustración 6: Mapa comparativo de procesos PTAR 1-PTAR 2	21
Ilustración 7:Esquema lodos activados	22
Ilustración 8: Procesos generales para el tratamiento de aguas residuales	15
Ilustración 9:Desarrollo histórico en el tratamiento de aguas residuales	19
Ilustración 10: Esquema fase de investigación	24
Ilustración 11: Esquema fase de análisis	25
Ilustración 12: Esquema fase de resultados	26
Ilustración 13: Ubicación plantas de tratamiento Chía	36
Ilustración 14: Propuesta técnica de mejoramiento.....	39
Ilustración 15:Propuesta técnica de mejoramiento.....	40
Ilustración 16: Desarenador.....	49
Ilustración 17: Reactor biológico	57
Ilustración 18: Sistema de aireación GAMA ABS PIK 300	58
Ilustración 19: Decantación secundaria	65
Ilustración 20: Estructura de cloración	68
Ilustración 21:Render vista superior propuesta técnica	71
Ilustración 22:Render vista lateral propuesta técnica	72
Ilustración 23: Render tratamiento primario y secundario propuesta técnica	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros lodos activados	23
Tabla 2: Contaminantes de importancia en el agua	24
Tabla 3: Marco Legal	16
Tabla 4: Marco Legal	17
Tabla 5: Censo población cabecera municipio de Chía	27
Tabla 6: Proyección aritmética	28
Tabla 7: Proyección geométrica	30
Tabla 8: Proyección exponencial	31
Tabla 9: Resumen de proyección 2020, 2030, 2045 y 2046	32
Tabla 10: Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar	33
Tabla 11: Resumen caudales 2020, 2030, 2045, 2046	37
Tabla 12: Laboratorio ANALQUIM LTDA acreditado IDEAM	38
Tabla 13: Laboratorio ANALQUIM LTDA acreditado IDEAM	38
Tabla 14: Parámetros de diseño rejilla	43
Tabla 15: Datos iniciales rejilla	43
Tabla 16: Datos iniciales canaleta parshall	46
Tabla 17: Ancho de garganta	46
Tabla 18: Dimensión y capacidad de las canaletas de medición. parshall, para varios anchos de garganta	47
Tabla 19: Resumen Dimensiones Canaleta Parshall W=3	48
Tabla 20: Parámetros de diseño -Desarenador	49
Tabla 21: Datos iniciales -Desarenador	50
Tabla 22: Datos de entrada para diseño de Reactor biológico	58
Tabla 23: Resultados obtenidos Reactor biológico	64
Tabla 24: Resultados obtenidos Reactor biológico	64
Tabla 25: Dimensiones Reactor biológico	65
Tabla 26: Datos de entrada	66
Tabla 27: Datos de entrada por unidad	66
Tabla 28: Resultados obtenidos decantador	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Proyección aritmética	29
Gráfica 2:Proyección geométrica	30
Gráfica 3: Proyección Exponencial	32
Gráfica 4: Diagrama de pérdidas de altura a través de la Canaleta	47

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Población final método aritmético	28
Ecuación 2: Población final método geométrico	29
Ecuación 3: Tasa de crecimiento	30
Ecuación 4: Población final método exponencial	31
Ecuación 5: Tasa de crecimiento exponencial	31
Ecuación 6 : Dotación Bruta	33
Ecuación 7: Caudal medio diario	34
Ecuación 8: Caudal de infiltración	34
Ecuación 9: Caudal de diseño	35
Ecuación 10: Caudal máximo diario	35
Ecuación 11: Caudal máximo horario	36
Ecuación 12: Caudal de diseño	41
Ecuación 13: Área del canal	41
Ecuación 14: Perímetro mojado	41
Ecuación 15: Altura lámina de agua	41
Ecuación 16: Caudal de diseño	43
Ecuación 17: Altura de la rejilla	43
Ecuación 18: Superficie de vacíos	44
Ecuación 19: Longitud sumergida	44
Ecuación 20: Numero de barrotes	44
Ecuación 21: Numero de espacios	44
Ecuación 22: Ancho de la zona de la rejilla	45
Ecuación 23: Perdidas de energía	45
Ecuación 24 : Altura según ancho de garganta	46
Ecuación 25: elevación de cresta	46
Ecuación 26: Profundidad aguas arriba	47
Ecuación 27: Velocidad de sedimentación	50
Ecuación 28: Tiempo que tarda la partícula en llegar al fondo	51
Ecuación 29: Periodo de retención hidráulico	51
Ecuación 30: Volumen del tanque	51
Ecuación 31: Área superficial del tanque	52
Ecuación 32: Base del tanque	52
Ecuación 33: Relacion de longitud respecto a la base	52
Ecuación 34: Carga hidráulica	52
Ecuación 35: Diametro menor de partícula	53
Ecuación 36: Velocidad horizontal	54

Ecuación 37:Velocidad horizontal máxima.....	54
Ecuación 38:Velocidad de resuspensión	54
Ecuación 39 Ecuación de Francis	55
Ecuación 40 Velocidad	55
Ecuación 41: Ecuación de alcance horizontal	55
Ecuación 42: Calculo de DBO soluble del afluyente	59
Ecuación 43:Calculo biomasa del reactor	59
Ecuación 44: Volumen reactor	59
Ecuación 45: Producción de lodos	60
Ecuación 46:Solidos totales.....	60
Ecuación 47:Caudal de lodos de desecho	60
Ecuación 48:Caudal de solidos de desecho.....	61
Ecuación 49:Caudal de recirculación	61
Ecuación 50:Tiempo de retención hidráulica.....	61
Ecuación 51: Oxígeno requerido.....	62
Ecuación 52:Caudal de aire en condiciones normales	62
Ecuación 53:Eficiencia de transferencia del equipo de aireación	62
Ecuación 54: Volumen de aire requerido	62
Ecuación 55:Carga orgánica volumétrica.....	62
Ecuación 56: Relación A/M.....	63
Ecuación 57: Remoción de DBO total.....	63
Ecuación 58: DBO soluble	63
Ecuación 59:Volumen del decantador.....	66
Ecuación 60: área superficial	66
Ecuación 61:Altura de tanque	67
Ecuación 62: Diámetro del tanque	67
Ecuación 63: perímetro del tanque	67
Ecuación 64:Carga sobre el vertedero.....	67
Ecuación 65:Volumen de cloración.....	69
Ecuación 66: área superficial del tanque	69
Ecuación 67:Base del tanque	69
Ecuación 68: Relación según la base	70

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el planeta está atravesando por una gran variedad de cambios producidos por el hombre, esto generado por la sobrepoblación y la necesidad de la humanidad por subsistir, se sabe que el hombre es un depredador por naturaleza que con el pasar del tiempo se adapta a los cambios evolutivos y mejora su capacidad de razonar, pero gracias a esto que caracteriza el ser humano el planeta está llegando a su límite, el consumo a gran escala de los recursos naturales condena rápidamente lo que conocemos como vida. Se conoce con exactitud que el recurso más importante y valioso con el que contamos en la actualidad es el agua, esta es la encargada de la vida en el planeta y de la subsistencia de las especies.

“Se aproxima que el 97.5% del agua del planeta es agua salada la cual debe ser tratada para el consumo humano, tan solo el 2.5% es agua dulce de la cual más del 70% se encuentra congelada en glaciares”(Gonzales,2019).Este pequeño porcentaje de agua dulce está siendo malgastada en todas las partes del planeta, por esta razón cada día la población mundial se ve obligada a crear nuevos métodos de tratamiento de tan preciado recurso, se tiene conocimiento que sólo alrededor de una quinta parte de las aguas residuales producidas actualmente se está tratando adecuadamente a nivel mundial. Por lo tanto, es de vital importancia avanzar e innovar en nuevos procesos de tratamiento de aguas residuales, el municipio de Chía presenta una gran variedad de dificultades con el proceso ya que la planta de tratamiento Chía 1 cuenta con una gran cantidad de años de utilidad, está ya no se encuentra en su mejor posición y en innovación, Chía es un departamento con una población en constante crecimiento por lo cual se debe manejar un buen proceso de tratamiento de aguas.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El río Bogotá es uno de los ríos más contaminados de Colombia, este es el punto de acople de varias fuentes de aguas residuales, vertimientos industriales y agrícolas los cuales están afectando la cuenca del río 11 km luego de su nacimiento en el páramo de Guacheneque - Villa Pinzón y que posteriormente entrega al río Magdalena una de las aguas más cargadas en contaminantes. Estos factores han llevado a la desestabilización del río, causando desbordamientos (**véase ilustración 1**) debido a los excesos de sedimento que atacan la vida humana como de la fauna microbiana y de los ecosistemas en sí.

Ilustración 1: desbordamiento del río Bogotá, variante entre Teletón y Chía, diciembre 5, 2011 5:35 am



Fuente: RADIOSANTAFE, <http://www.radiosantafe.com/2011/12/05/cerrada-otra-vez-variante-chía-teleton-por-desbordamiento-del-río-bogota/> [En línea] 05 de diciembre de 2011. [Citado el: 15 de septiembre de 2019.]

Con el objeto de contrarrestar esta problemática el Consejo de Estado radicó la sentencia 467 de marzo de 2014 en la que se ordena a los municipios ubicados en la cuenca del río Bogotá la descontaminación del afluente, es aquí donde el municipio de Chía decide adoptar medidas para afrontar la problemática, haciendo uso de dos plantas de tratamiento una ubicada en el costado oriental del municipio llamada PTAR CHÍA 1 y la segunda en el costado sur occidente de la zona entre el río Frío y río Bogotá llamada PTAR CHÍA 2 que estará en funcionamiento para el año 2020.¹

Según el Plan de desarrollo Municipal de 2016-2019 informa que se cuenta con la PTAR-1 la cual vierte cerca del 40% de aguas residuales operado por Emserchía ESP con un rendimiento de 92.84 litros por segundo aproximadamente sin embargo

¹ VELILLA MORENO, MARCO ANTONIO. SENTENCIA 2001-90479 DE 28 DE MARZO DE 2014.

no se cumple con los parámetros de la resolución 631 de 2015 y se requiere optimizar a corto plazo. PTAR 2 tendría proyectado cumplir con más de 350 litros por segundo para el 70% del área urbana.²

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El tratamiento de aguas residuales integrado por PTAR I y II del municipio de Chía podrán cumplir con los parámetros y concentraciones requeridos por la población y el consejo de estado realizado al Río Bogotá?

4. ANTECEDENTES

Como consecuencia a la sentencia para descontaminación del río Bogotá presentada por el consejo de estado, se colocó en el ojo de la lupa el funcionamiento de la PTAR 1, (**véase ilustración 2**) ya que por su antigüedad la planta presenta deficiencias en el proceso, esto junto al crecimiento desmesurado que ha tenido el municipio de Chía. La planta Chía 1 tiene como objetivo descontaminar los vertimientos que hace el 35% de la población al río Bogotá.

Ilustración 2: PTAR I, noviembre 12, 2018



Fuente: ALEJANDRA Ipuz, <https://www.eltiempo.com/bogota/corrupcion-en-la-ptar-de-Chia-afecta-a-excalde-292612> [En línea] 12 de noviembre de 2018. [Citado el: 17 de septiembre de 2019.]

² **DONOSO Leonardo Ruiz/ alcalde de Chía.** *Diagnóstico plan de desarrollo 2016-2019 municipio de Chía. municipal*, Chía-Cundinamarca: s.n., 2016.

Sin embargo, en los intentos que se han hecho para actualizar la planta que data de 1989, se fueron diluyendo los recursos desde el año de 2015, cuando exfuncionarios de la alcaldía mediante contratación directa adjudicaron aproximadamente de 18.000 a 20000 millones de pesos durante la administración del señor alcalde Varela.³ Además del detrimento patrimonial que esto generó, a esto sumaron varios problemas como la emisión de olores y propagación de plagas en la zona. Acabando con la tranquilidad de varios residentes y centros de comercio del sector.⁴

De acuerdo con el plan de desarrollo se enuncia que la planta vierte 92.84 litros por segundo con porcentajes de remoción inferiores al 80%, lo cual no cumple con lo estipulado en el decreto 1594 de 1984. El DBO5 varía de 35% a 60% y los sólidos totales de un 40% a un 70%, obteniendo al final del proceso aguas que no cumplen con los estándares exigidos.⁵

En segundo lugar, en el costado sur occidente de Chía en el sector de las juntas vereda la Balsa tenemos PTAR 2(**véase ilustración 3**), la segunda planta del municipio que tratara el agua del 70% de la población urbana esto garantiza 320 litros por segundo de agua tratada que se verterán al río Bogotá, aunque también ha llevado tropiezos en los trámites de su licitación, finalmente se ha contratado por un valor aproximado a los 54.000 millones de pesos.⁶

Según expertos esta obra será similar a la planta de tratamiento de aguas residuales de Cogua, con una eficiencia del 95% en sus procesos, no obstante, la población aledaña a la obra no está muy conforme puesto que creen que esto puede llegar a generar malos olores problemas de plagas y enfermedades lo que en consecuencia podría llegar a cambiarles su proyecto de vida.⁷

Ilustración 3: Vista en planta PTAR 2

³ **TIEMPO, EL. 2018.** Los líos de la Ptar de Chía que enredan a tres exfuncionarios. [En línea] 12 de noviembre de 2018. [Citado el: 05 de septiembre de 2019.]

⁴ **TIEMPO, EL. 2009.** El 20 por ciento de la población de Chía sufre por malos olores de planta de aguas negras. [En línea] 17 de septiembre de 2009. [Citado el: 05 de septiembre de 2019.]

⁵ **DONOSO Leonardo Ruiz/ alcalde de Chía.** *Diagnóstico plan de desarrollo 2016-2019 municipio de Chía. municipal*, Chía-Cundinamarca: s.n., 2016.

⁶ **ALCALDÍA DE CHÍA. 2019.** <https://www.chía-cundinamarca.gov.co/bg/hy/hy/it/az/index.php/2741-en-diciembre-de-2019-entraria-en-funcionamiento-la-ptar-chía-ii-alcalde-leonardo-donoso>. [En línea] 25 de Julio de 2019. [Citado el: 08 de septiembre de 2019.]

⁷ **AQUIMATAMOROS. 2018.** <http://aquimatamoros.com/por-fin-operara-a-mas-tardar-en-octubre-la-ptar-2/>. [En línea] 23 de agosto de 2018. [Citado el: 09 de septiembre de 2019.]



Fuente: GOOGLE.MAPS, <https://www.google.com/maps/place/Ch%C3%ADa,+Cundinamarca/@4.837054,-74.080104,434m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e3f878dd475a989:0x4211096980b5302!8m2!3d4.864758!4d-74.050918>, [En línea] 2017. [Citado el: 17 de septiembre de 2019.]

Esta mega-obra tecnológica también ha tenido problemas en la consecución de previos, puesto que durante las dos administraciones se hizo la compra de 14 previos y según información de los propietarios aledaños a la obra no fueron informados. En consecuencia, comunidades han realizado cierres en las vías de acceso causando retrasos.⁸

Por otro lado, la población ha cuestionado la ubicación de la planta ya que afirma que esta se encuentra según el plan de gestión de riesgo en una zona de posible inundación. Otro punto polémico para la población son los suelos sobre los que está cimentada la obra ya que están compuestos por areniscas y aluviones lo que puede resultar en zona de licuefacción.

⁸ **ALCALDÍA DE CHÍA .2018.** PTAR 2 de Chía: una bomba a punto de estallar. [En línea] 08 de Julio de 2018. [Citado el: 09 de septiembre de 2019.]

5. JUSTIFICACIÓN

Las plantas de tratamiento son la principal fuente de mejoramiento y limpieza del agua residual, esta cumple una función muy importante en cada ciudad o municipio del país ya que reduce los contaminantes del agua que se generan en una población, contribuyendo con la protección del medio ambiente y la salud de las personas que están expuestas al contacto con estos vertimientos. Algunas de las plantas de tratamiento de agua residual constituyen un problema molesto para la comunidad, ya que son causantes de producir malos olores y problemas de salud a la población cercanas a la planta, lo que genera una inconformidad social. Estos olores pueden ser producidos por años de uso de la misma y una falta de mantenimiento por factores físicos, químicos o biológicos de los compuestos que tenga el agua a tratar; por el metabolismo de las bacterias, en el caso de las bacterias anaerobias que pueden producir malos olores; entre otros múltiples casos (Morgan, Revah, & Noyola, S.f).

Los sistemas de tratamiento de agua residual que operan en condiciones anaerobias producen ocasionalmente una mayor producción de gases lo cual genera olores molestos para las comunidades, ya que estas plantas contienen bacterias anaerobias que pueden originar grandes desprendimientos de sulfuro de hidrógeno

En una planta de tratamiento es importante tener en cuenta las mediciones de sustancias como ácido sulfhídrico (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos de azufre ya que altas concentraciones de estas generan olores molestos, adicional a ello mecanismos como los monitoreos periódicos se pueden utilizar para la reducción de sus impactos al ambiente y a las comunidades (Mena, 2014).

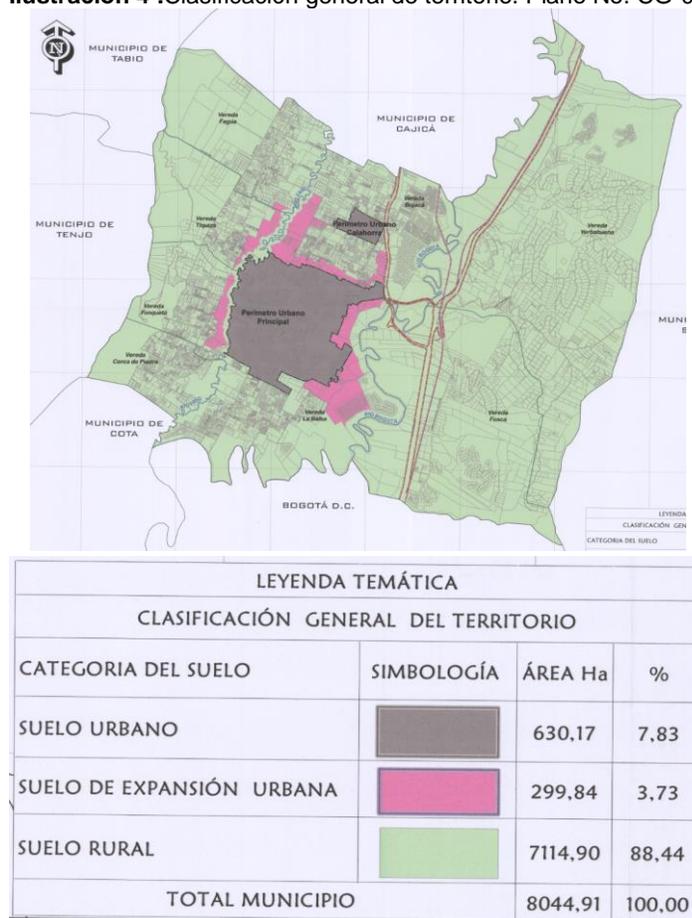
Este estudio es importante dado que se presenta el análisis de los procesos y diseños utilizados en el sistema de tratamiento PTAR Chía I y los futuros procesos de la PTAR Chía II y con base en ello generar recomendaciones que pueden implementarse en el proceso de tratamiento para controlar o disminuir los efectos causados por un mal manejo o estudio bioquímico de los componentes utilizados para el tratamiento, en este momento se originan problemas por los gases liberados. Por ello es fundamental tener conocimiento de todas las etapas que componen la planta de tratamiento de agua residual del municipio, identificando la maquinaria y el tipo de lagunas implementadas en este proceso.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. LOCALIZACIÓN GENERAL

El municipio de Chía se encuentra localizado en el departamento de Cundinamarca, más exactamente a 4°52' Latitud Norte y 74°04' Longitud Oeste, Provincia de Sabana Centro. Con una extensión geográfica total de 80.44 Km², la cual está distribuida en territorio urbano y rural (**véase ilustración 4**). Registrando una altura promedio de 2550 m.s.n.m.⁹

Ilustración 4 :Clasificación general de territorio. Plano No. CG-01



Fuente: ALCALDÍA Cundinamarca, <https://www.chía-cundinamarca.gov.co/POT2016/CARTOGRAFIA/>, [En línea] 03 de agosto 2016. [Citado el: 19 de septiembre de 2019.]

⁹ **DONOSO Leonardo Ruiz/ alcalde de Chía.** *Diagnóstico plan de desarrollo 2016-2019 municipio de Chía. municipal.* Chía-Cundinamarca: s.n., 2016.

6.2. HIDROGRAFÍA DE CHÍA

En cuanto a manejo de recursos hídricos Chía cuenta con dos empresas a cargo de esto EMSERCHÍA y PROGRESAR, que dan cobertura al municipio con un sistema de agua potable que según el plan de desarrollo dicta este *“fue diseñado en 1996, para una población de 210.930 habitantes, con una dotación de 180 litros habitante día. De acuerdo con el RAS 2000 y nivel de complejidad Alto, para el Municipio la dotación por habitante día es de 150 litros”*.¹⁰

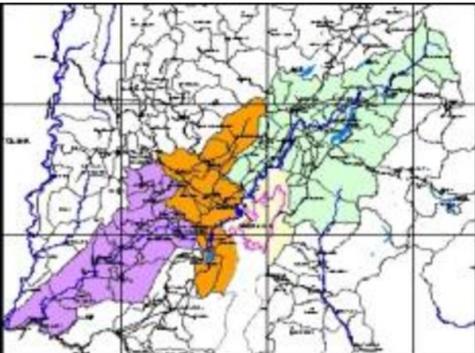
Con respecto a aguas residuales se cuenta con el manejo de EMSERCHÍA a cargo de PTAR 1 que vierte el 40% al río Bogotá, sobre el río Frío a futuro trabajará PTAR 2 conduciendo el 70% de aguas tratadas.

6.3. CUENCA RÍO BOGOTÁ

El municipio de Chía vierte sus aguas residuales al río Bogotá ya que hace parte de uno de los territorios ubicados en la cuenca Alta del río Bogotá (**Véase ilustración 5**) con una longitud de río de 170km naciendo a 3300m.s.n.m en el páramo Guachené, y entregando al río Magdalena a 280 m.s.n.m. La cuenca del río Bogotá con un área de 589.143 hectáreas está dividida en 19 subcuencas, siendo una de ellas la cuenca del río Frío con un área de 20.159 ha.¹¹¹²

Ilustración 5: Clasificación de cuenca

Zona	Comprende
Cuenca Alta	Desde el nacimiento del Río Bogotá, en Villapinzón hasta el puente de la virgen
Cuenca Media	Desde el puente de la Virgen (Cota), hasta antes del embalse del Muña en Alicachín
Cuenca Baja	Desde el embalse del Muña hasta la desembocadura en el Río Magdalena



Fuente: INSTITUTO DE ESTUDIOS URBANOS.
<https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/0112111.htm>, [En línea] 15 de febrero 2014. [Citado el: 19 de septiembre de 2019.]

¹⁰ DONOSO Leonardo Ruiz/ alcalde de Chía. Diagnóstico plan de desarrollo 2016-2019 municipio de Chía. municipal. Chía-Cundinamarca: s.n., 2016.

¹¹ CAR. (2006). (POMCA) Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de río Bogotá. pág. 4.

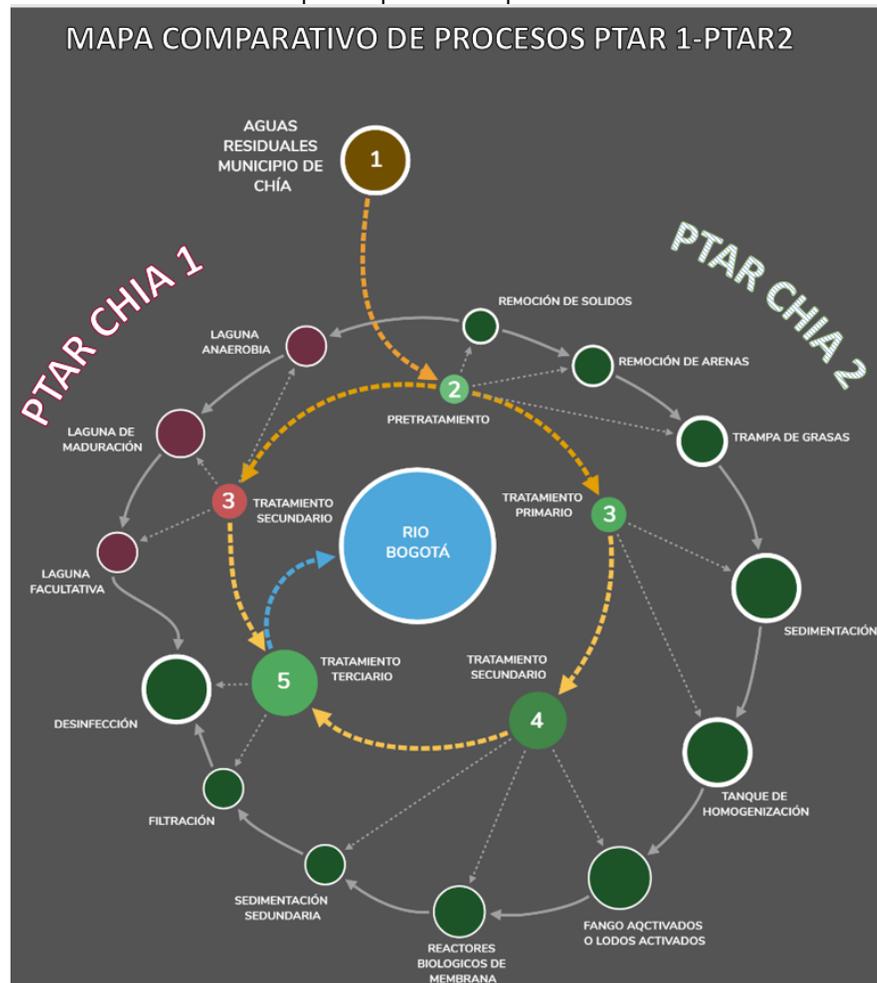
¹² URBANOS, I. D. (s.f.). Obtenido de <https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/0112111.htm>

6.4. PROCESOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR-1 Y PTAR-2)

PTAR-1 es una de las plantas que funcionan por el método de lagunas de estabilización sin embargo debido a los problemas que ha tenido de corrupción no se conoce la mezcla de procesos que contiene, sin embargo, el agua que se vierte al río Bogotá no cumple con normativas ambientales.

La segunda planta de tratamiento de aguas residuales de Chía contará con un sistema efectivo de desinfección de aguas, pues este proceso garantiza el 95% de eficiencia. El tratamiento de aguas por medio del proceso de lodos activados está pensado para funcionar en tres fases (**Véase ilustración 6**).

Ilustración 6: Mapa comparativo de procesos PTAR 1-PTAR 2



Fuente: Autores

6.5. LODOS ACTIVADOS

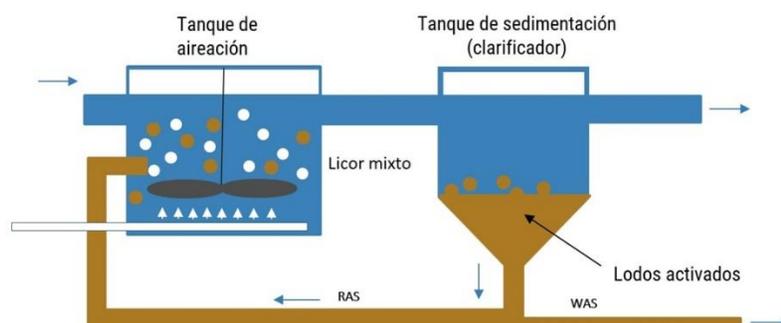
El sistema de lodos activados fue desarrollado en la década de 1910 a 1920 por Arden y Lockett dicho proceso tiene en común el contacto del floc biológico con las aguas a tratar en el cual convive microorganismos, que se alimentan de la materia orgánica y a la vez activan la absorción de coloides y suspendidos, dentro de lo que se considera un reactor biológico, posterior a esto el agua pasará a clarificador secundario para remover las partículas restantes¹³.

Este sistema tiene la ventaja de poder combinarse con otras tecnologías de saneamiento convenientes para la remoción de contaminantes y hacer eficiente el proceso de eliminación como de producción de energía a partir gas producto de las reacciones químicas¹⁴.

Sin embargo, se requiere la aireación mecánica que puede llegar a ser un factor de aumento de costo como la producción en aumento de la huella de carbono en comparación con otras tecnologías.

Los procesos de lodos activados, (**véase ilustración 7**) por lo general se ubican luego del proceso de pretratamiento donde se remueven las partículas sólidas de gran tamaño, así como una estructura para captación de grasas y se recomienda colocar a final un tratamiento terciario, en donde se eliminarán organismos patógenos por medio de sustancias como el cloro¹⁵.

Ilustración 7: Esquema lodos activados



Fuente: CROPAIA. <https://cropaia.com/es/blog/lodos-activados/>

¹³ K.V. Gernaey, G. (2013). Wastewater Treatment Models. *ScienceDirect*.

¹⁴ (Florida), C. N. (2017). Activated Sludge. *GWPP Gloval Watter*.

¹⁵ K.V. Gernaey, G. (2013). Wastewater Treatment Models. *ScienceDirect*.

6.6. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS

La resolución 0330 del 2017 recomienda valores característicos en el proceso y cuyos rangos se deben respetar para mantener un óptimo rendimiento cuando la planta se encuentre en operación (**véase en tabla 1**).

Tabla 1: Parámetros lodos activados

Proceso	F/M (kgDBO/kg MLVSS.D)	LV (kgDBO/m3.d)	td (h)	θ_c (d)	XT (SSV)
Convencional	0,2-0,4	0,3-0,7	4-8	3-15	1000-3000
Completamente mezclado	0,2-0,6	0,3-1,6	3-5	3-15	1500-4000
Aireación Escalonada	0,2-0,4	0,7-1,0	3-5	3-15	1500-4000
Alta Tasa	1,5-2,0	1,2-2,4	1,5-3,0	0,5- 2,0	200--1000
Estabilizador por contacto: Contacto estabilización	0,2-0,6	1,0-1,3	0,5-1,0	5-10	1000-3000
	N/A		2,0-4,0	N/A	6000-10000
Aireación extendida	0,04-0,10	0,1-0,3	20-30	20-40	2000-5000
Zanjón de oxidación	0,04-0,10	0,1-0,3	15-30	15-30	3000-5000
Reactores secuenciales por tandas (SBR)	0,04-0,10	0,1-0,3	15-40	10-30	2000-5000
Oxígeno puro	0,5-1,0	1,3-3,2	1-3	1-4	2000-5000

Fuente: Tabla 36 Resolución 0330 de 2017

7. MARCO CONCEPTUAL

Para determinar los niveles de contaminación de las aguas residuales, se deben evaluar por medio de los parámetros típicos de medida (**véase en tabla 2**) esto con el fin de caracterizar el tipo de agua que se recibe del afluente y tener control de los tiempos y dosificaciones como de los parámetros que se entregan al finalizar el proceso.

Tabla 2: Contaminantes de importancia en el agua

Contaminante	Parámetro típico de medida	Impacto ambiental
Materia orgánica biodegradable	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables.
Materia suspendida	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para consumo y recreación.
Amoníaco	HN ₄ ⁺ -N	Desoxigenación el agua, es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas.
Fósforo	Ortofosfatos	Puede estimular el crecimiento de algas.
Materiales tóxicos	Como cada materia tóxica específico	Peligroso para la vida vegetal y animal.
Sales inorgánicas	SDT	Limita los usos agrícolas e industriales del agua
Energía térmica	Temperatura	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos.
Iones hidrógeno	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos.

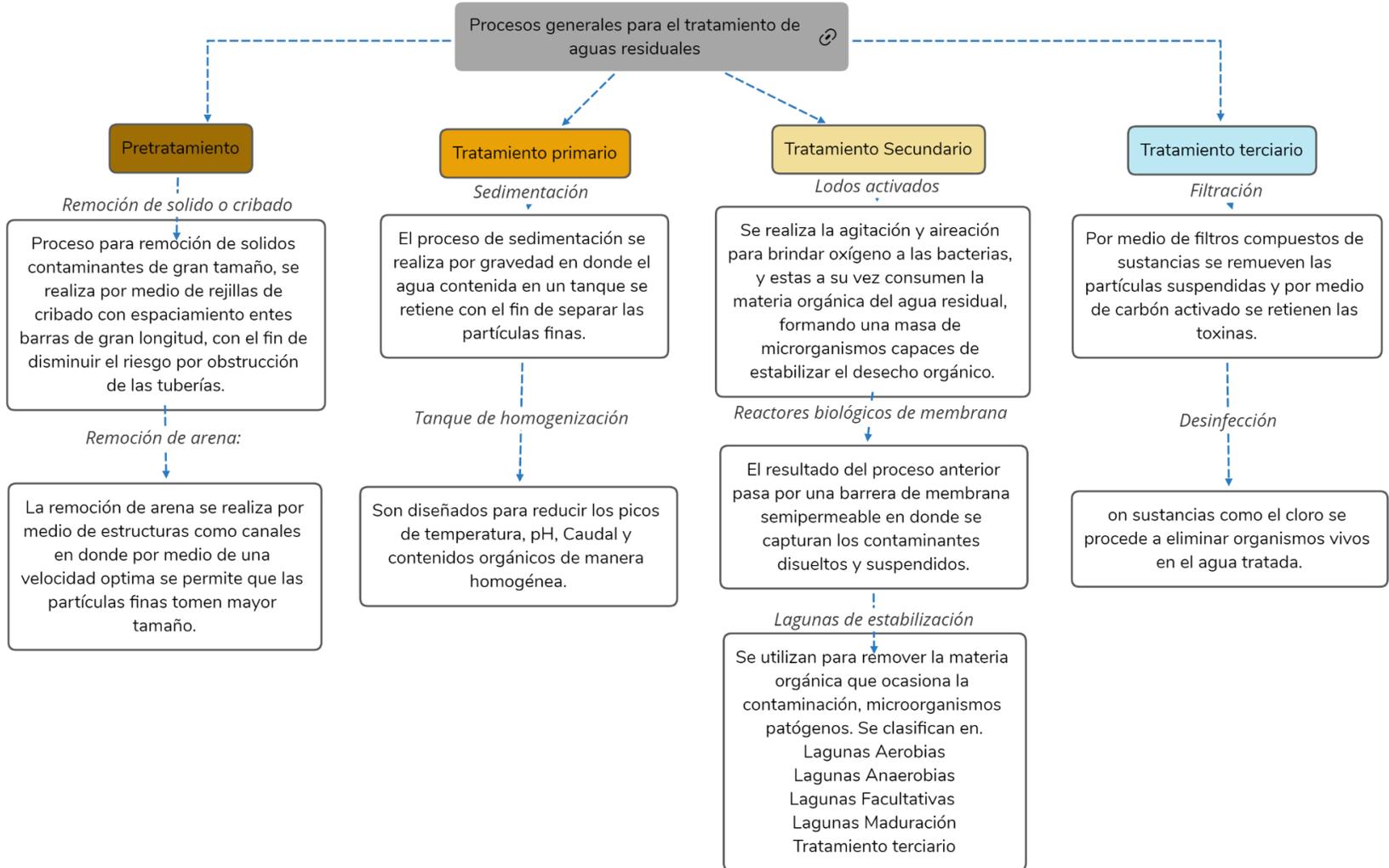
Fuente: Tabla 1.14 ROMERO, Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño

DBO (Demanda bioquímica de oxígeno): Se define en el título d de la Ras 2000 como el parámetro que determina la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias y microorganismos para la degradación del contenido orgánico en el agua.

DQO (Demanda Química de oxígeno): Según la Ras 2000 este parámetro define la cantidad necesaria de oxígeno para la oxidación por medio químico de sustancias orgánicas disueltas o en suspensión.

Como consecuencia de las diversas actividades humanas como la agricultura, ganadería, industrias y las distintas actividades domésticas se debe llevar a cabo un proceso (**Ilustración 8**) de tratamiento de aguas residuales.

Ilustración 8: Procesos generales para el tratamiento de aguas residuales



Fuente: Autores

8. MARCO LEGAL

El mecanismo de cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales debe asegurar el cumplimiento de las normativas establecidas en el país, para esto es necesario tener en cuenta una compilación de los decretos y resoluciones que en el ejercicio de sus obligaciones constitucionales se establecen con el fin de proteger la integridad del medio ambiente **(Véase Tabla 3)**.

Tabla 3: Marco Legal

LEY	EXPIDE	DESCRIPCIÓN
Constitución política de Colombia de 1991	Asamblea nacional constituyente	Dicta la responsabilidad a Estado en la prevención y control al medio ambiente, mediante exigencias, sanciones, reparaciones entre otras.
Decreto 1729 de 2002	Ministerio del medio ambiente	Se establece es el (POMCA) Plan Normativo de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas.
Acuerdo 43 de 2006	Corporaciones Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)	En el acuerdo se proponen objetivos enfocados en la calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a desarrollar para el año 2020.
Resolución 0957 de 2019	Corporaciones Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)	Se dicta el ajuste y actualización del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del (POMCA) río Bogotá en búsqueda de proteger la integridad del medio ambiente.
Decreto 3930 de 2010	Ministerio de vivienda ciudad y territorio	<i>*Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a uso del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. "</i>

Fuente: Autores

Tabla 4: Marco Legal

LEY	EXPIDE	DESCRIPCIÓN
Decreto 1594 de 1984	Ministerio de agricultura	<i>“Se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.”</i>
RAS 2000	Ministerio de desarrollo económico	Documento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, Título A (Reglamento Técnico) y Título D (Tratamiento de aguas residuales).
Resolución 0330 de 2017	Ministerio de vivienda ciudad y territorio	En la que se actualiza el reglamento técnico de la RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009
Resolución 0631 de 2015	Ministerio de ambiente desarrollo sostenible	Decreto en el cual se establecen normativa y parámetros que permitidos para vertimientos en cuerpos de agua superficiales y alcantarillado público.

Fuente: Autores

9. ESTADO DEL ARTE

La historia de las plantas de tratamiento a lo largo del tiempo ha atravesado por grandes cambios tecnológicos. El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente. Su inicio data de fines de 1800 y principios del actual siglo. Esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre contaminación de los cursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico.

A finales del siglo XIX comenzaron a implementarse los avances en microbiología para el tratamiento de las aguas residuales y en 1914 los ingenieros Edward Arden y William T. Lockett, descubrieron los fangos activos, uno de los sistemas de tratamiento biológico para la depuración de la contaminación orgánica de aguas residuales que todavía usamos en las actuales depuradoras.

En un principio, el tratamiento se hacía mediante el vertido de las aguas residuales al suelo, pero prontamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber el cada vez mayor volumen de aguas residuales. (LENNTECH, 2020)

A continuación, se presenta un resumen del desarrollo histórico del tratamiento de las aguas residuales, (**véase ilustración 9**).

Ilustración 9:Desarrollo histórico en el tratamiento de aguas residuales

Fecha	Desarrollo
A. C.	Irrigación con aguas residuales - Atenas
1550	Uso de aguas residuales en agricultura - Alemania
1700	Uso de aguas residuales en agricultura - Reino Unido
1762	Precipitación química de aguas residuales - Reino Unido
1860	Dispositivo de Mouras. Tratamiento anaerobio de sólidos de aguas residuales
1865	Experimentos sobre microbiología de digestión de lodos - Reino Unido
1868	Investigaciones sobre filtración intermitente de aguas residuales - Reino Unido
1870	Filtración en arena de aguas residuales - Reino Unido
1876	Primeras fosas sépticas - USA
1882	Experimentos sobre aeración de alcantarillas - Reino Unido
1884	Introducción de las rejillas de desbaste - USA
1887	Estación experimental de Lawrence para el estudio de agua y aguas residuales. Massachussets - USA
1887	Primera planta de precipitación química - USA
1889	Filtración en lechos de contacto - Massachusetts, USA
1891	Digestión de lodos - Alemania
1895	Recolección de metano de fosas sépticas y su empleo en alumbrado - Reino Unido
1898	Molinete hidráulico para filtros percoladores - Reino Unido
1904	Empleo de desarenadores - USA
1904	Fosa séptica Travis de dos pisos - Reino Unido
1904	Tanque Imhoff - Alemania
1906	Cloración de aguas residuales - USA
1908	Ley de Chick - USA
1911	Aplicación de tanques Imhoff - USA
1911	Digestión separada de lodos - USA
1914	Tratamiento de aguas residuales por lodos activados - Reino Unido
1916	Primera planta municipal de lodos activados - USA
1925	Aeración por contacto - USA

Fuente: Sistemas de Tratamiento de Aguas
(ROJAS, Gestion integral de tratamiento de aguas residuales , 2002)

En los años 70 se dio a conocer la importancia del contacto entre el lodo y el sustrato, esto permitió un avance en cuanto a reactores lo que demostró que estos procesos pueden alcanzar un alto grado en la actividad de remoción de componentes orgánicos similares a los realizados con procesos aerobios. En términos generales, se registran nuevas generaciones de reactores anaerobios, las cuales destacan porque se reduce considerablemente el tiempo de retención hidráulico (TRH) y mejora a gran escala el contacto entre el lodo y el sustrato, lo cual disminuye los volúmenes de reactor, se genera una reducción considerable en costos, se plantean sistemas más estables y de más fácil operación. (Diaz.consuelo, 2002; Diaz.Consuelo, s.f.)

Como se menciona anteriormente, los tiempos de retención requeridos eran elevados, así como existía un mal contacto entre la biomasa y el material orgánico, lo que hacía que estos reactores fueran poco competitivos, principalmente para el

tratamiento a gran escala de volúmenes de aguas residuales. Con el fin de resolver estos problemas, algunos grupos de investigadores de diferentes países abordaron el diseño de una nueva generación de reactores lo cual denominaron (segunda generación), en los cuales se independiza el tiempo de retención celular del tiempo de retención hidráulico y se incorporan elementos para mejorar el contacto entre la materia orgánica y la biomasa anaerobia presente en el reactor. A fin de evitar la pérdida de biomasa en los reactores se han probado varias estrategias (Lettinga et al. 1999; Van Den Berg, L., 1984)

En la última década, el conocimiento y la comprensión del procedimiento de tratamiento aguas residuales ha aumentado progresivamente y se ha alejado de la perspectiva empírica a un enfoque basado en principios de primer orden que abarca la química, la microbiología y la ingeniería física y de bioprocesos, que frecuentemente implican trabajo y técnicas de laboratorio experimentales.

Estos métodos y técnicas experimentales han llegado hasta el punto de que han sido aceptados como herramientas confiables en la investigación y práctica del tratamiento de aguas residuales. Para los profesionales del sector, especialmente una nueva generación de jóvenes científicos e ingenieros que ingresan a la profesión de tratamiento de aguas residuales, la cantidad, complejidad y diversidad de estos nuevos desarrollos puede ser abrumadora, particularmente en países en desarrollo donde el acceso a cursos de laboratorio de nivel avanzado en el tratamiento de aguas residuales no está fácilmente disponible. (Mark, 2016)

Actualmente, la ingeniería sanitaria se encuentra en un proceso de avances y desarrollos tecnológicos innovadores, en el que antiguas ideas vuelven a valorarse y se formulan nuevos conceptos. La implementación de sistemas de abastecimiento de agua y de saneamiento, son factores importantes en la conservación del bienestar de los pueblos y que en mayor grado disfrutan los países desarrollados.

En virtud de la baja calidad de remoción de materia orgánica, así como a los altos periodos de tiempo que requerían los sistemas anaerobios, a partir de 1945 comienza la implementación a gran escala de sistemas aerobios especialmente, lodos activados y filtros percoladores. Ya que la alta eficiencia de remoción de materia orgánica de estos sistemas expresada en términos de DBO (90 a 95%), comparada con la obtenida en los procesos anaerobios (30 a 50%) hacían a estos últimos poco competitivos. En la actualidad, se reconoce que la baja eficiencia de estos sistemas se relaciona con un pobre contacto entre la masa bacteriana presente y el material suspendido y disuelto. (Caballero, 2015)

La necesidad de procesos de tratamiento rentables y confiables ha aumentado considerablemente para cumplir con el nivel continuamente más estricto de las regulaciones ambientales a gran escala, para lograr los desafiantes y objetivos nacionales para la reducción de la carga de nutrientes en los cuerpos de agua. Como resultado de estas regulaciones, se han llevado a cabo importantes mejoras y nuevos trabajos de construcción, en particular para una eliminación de nutrientes más eficiente. Implementando instrumentación más avanzada, El sistema de control y automatización (ICA) representa la forma correcta de renovar una EDAR, lo que lleva a El uso óptimo de los procesos unitarios. Además, las mediciones en línea y los controles basados en ellos son esenciales en la operación flexible y rentable de la eliminación moderna de nutrientes plantas_(HAIMI, s.f.).

Se plantea el mejoramiento, síntesis y diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados para exclusión biológica de nutrientes basados en modelos, aplicando técnicas de programación matemática. A lo largo de la misma se desarrollan modelos matemáticos de complejidad y rigurosidad crecientes, cuyas soluciones y conocimientos adquiridos se utilizan continuamente para el planteo, representación, acotamiento del espacio de investigación de las soluciones, e inicialización de los modelos matemáticos subsiguientes. El objetivo final consiste en el progreso de modelos basados en superestructuras del proceso que posibiliten la implementación de algoritmos para la optimización de la configuración de la planta de tratamiento (síntesis del proceso) y las variables de diseño y operación para diferentes escenarios de interés teórico y práctico (SCENNA, 2009)

Ya que uno de los principales problemas de las plantas de tratamiento de aguas residuales son los malos olores y el reglamento establece los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. se analiza el siguiente documentó el cual determina las principales causas y da soluciones para el control de olores._(LOZADA, Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales, 2019)

10. OBJETIVOS

10.1. GENERAL

Realizar el diagnóstico del sistema integrado de plantas de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Chía Cundinamarca PTAR 1 y a futuro PTAR 2, con base en normativas, especificaciones de la población y del consejo de estado realizado al río Bogotá.

10.2. ESPECÍFICOS

Desarrollar una búsqueda e identificación de documentos y planos relacionados con PTAR Chía 1 y 2, necesarios para sustentar el análisis y diagnóstico del sistema.

Efectuar un análisis integral de caudales y eficiencia de remoción de contaminantes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Chía.

Elaborar una propuesta técnica acorde a la información obtenida de PTAR Chía 1 y 2 y de acuerdo con la normativa ambiental.

11. ALCANCE Y LIMITACIONES

11.1. ALCANCE

Efectuar un análisis integral de caudales y eficiencia de remoción de contaminantes seguido a un informe de cálculos y eficiencia de la PTAR chía 1 Y 2 realizados en conjunto en este proyecto y compararlos con los realizados por la empresa encargada del diseño para ver si cumple con lo establecido por norma.

11.2. LIMITACIONES

Información suministrada por la empresa prestadora del servicio (Emserchía) en cuanto a planos, parámetros de diseño y laboratorios de calidad del agua.

Estudios preliminares suministrados por la CAR en cuanto a eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de aguas residuales Chía 1 y futura Chía 2.

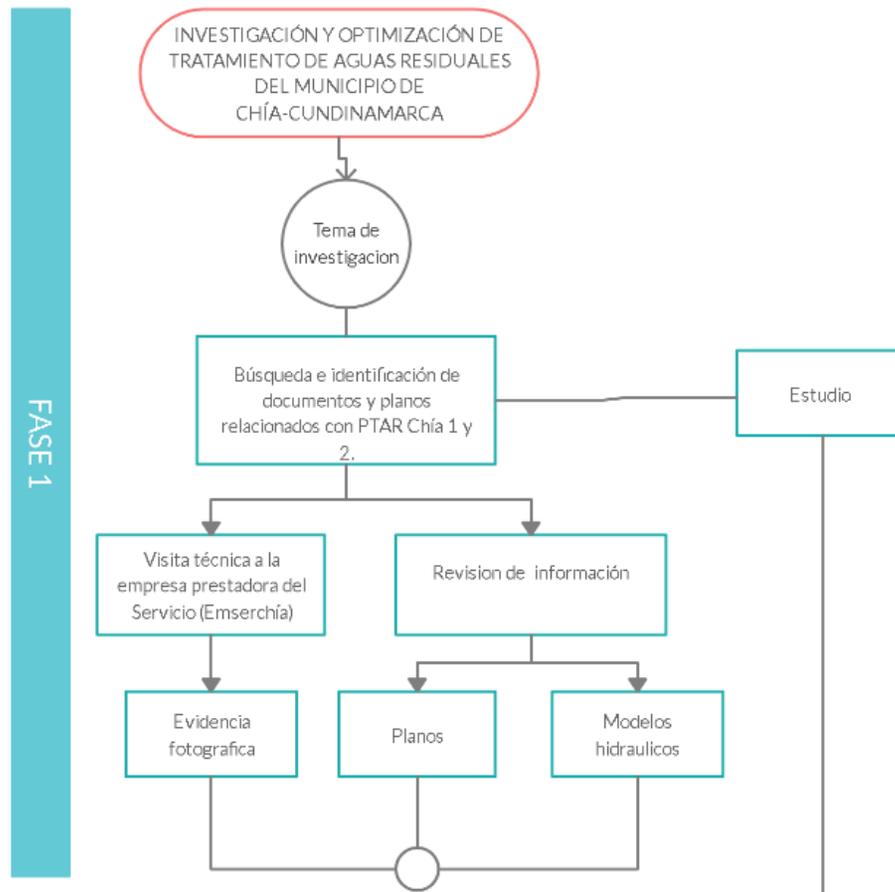
12. METODOLOGÍA

La metodología pretende realizar un análisis integral y una propuesta técnica a un problema futuro de tratamiento de aguas residuales, se busca recolectar la mayor cantidad de información posible para sustentar cada uno de los procesos a realizar.

Fase de investigación

Considerando que el municipio de Chía Cundinamarca cuenta con vertimientos divididos en dos áreas, una dreña al Río Bogotá y la segunda al Río Frío. Según la ilustración 9 en primera instancia se realizará una búsqueda e identificación de documentos y planos teniendo en cuenta que la PTAR 1 actualmente se encuentra en operación por lo que se realizará la búsqueda de informes y laboratorios certificados, de igual manera se buscará contactar con la empresa de servicios públicos a cargo de la construcción de la PTAR Chía II con el fin de solicitar información respecto a caudales, parámetros de remoción y planos.

Ilustración 10: Esquema fase de investigación

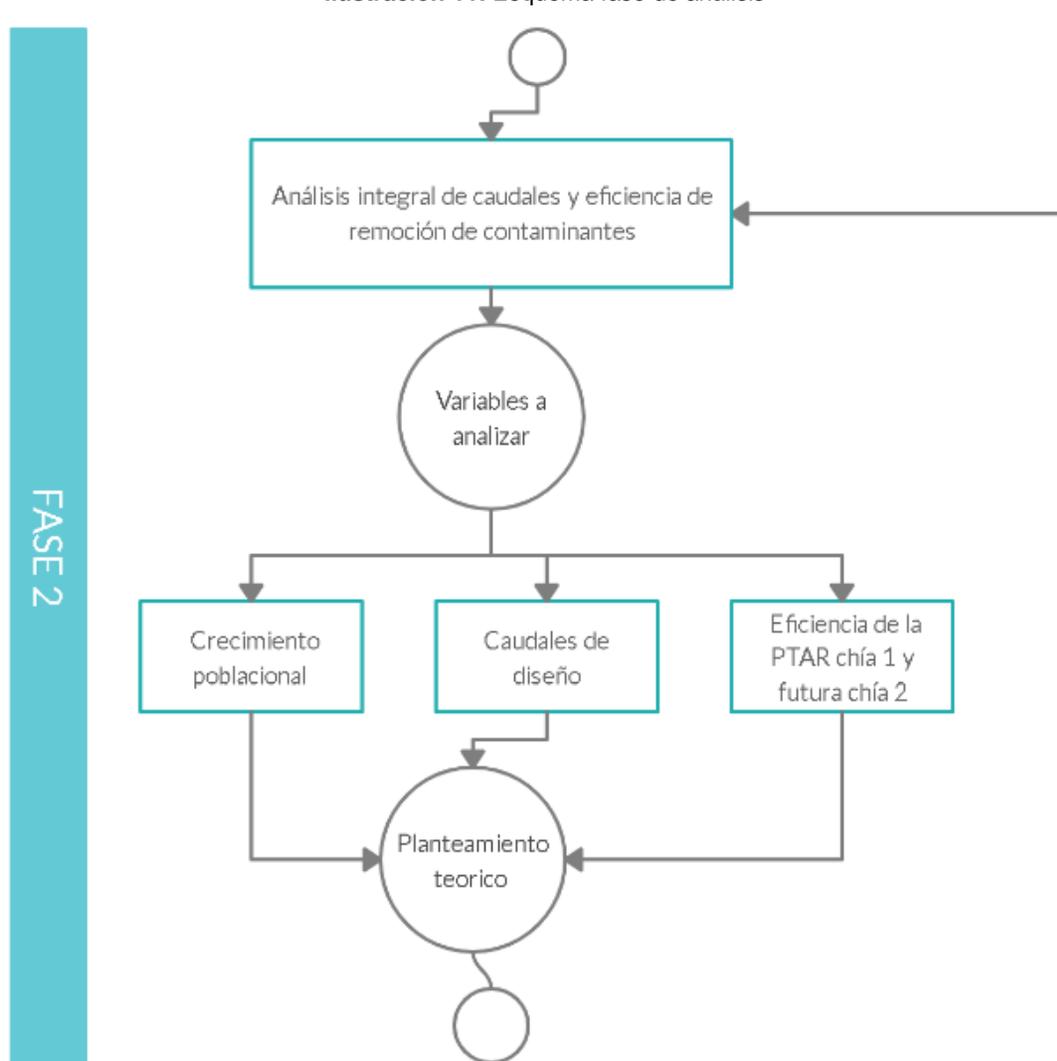


Fuente: Autores

Fase de análisis

Teniendo en cuenta la fase de búsqueda y análisis de información se pretende determinar el caudal de diseño de aguas residuales del municipio de Chía Cundinamarca y establecer si la PTAR Chía 1 y PTAR 2 cumple con los parámetros de eficiencia, remoción de contaminantes y calidad del agua.

Ilustración 11: Esquema fase de análisis

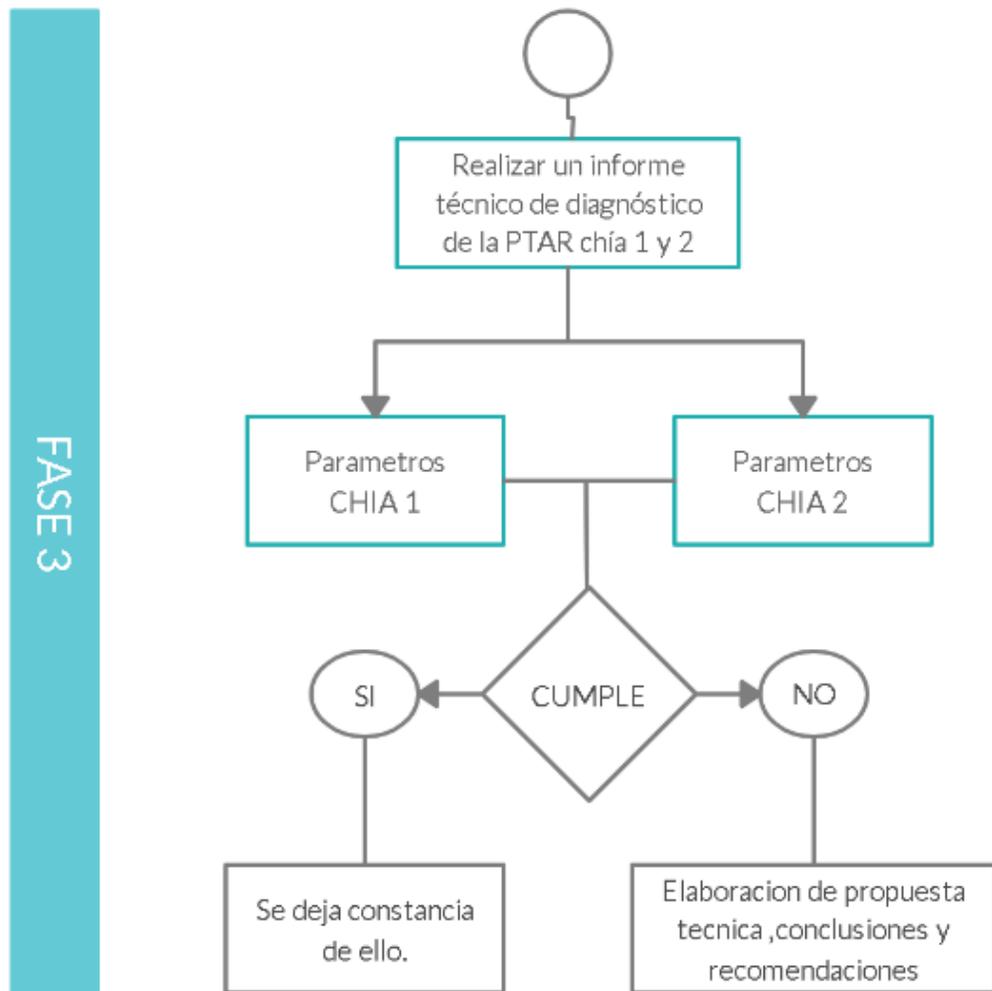


Fuente: Autores

Fase de resultados

Con base en los resultados obtenidos del análisis integral de caudales a 25 años y la eficiencia de remoción de contaminantes se realiza un informe técnico de diagnóstico con dos posibles resultados, de cumplir se deja constancia por escrito resaltando los factores de éxito, de no ser así a elaborar una propuesta técnica para el mejoramiento, ampliación o posibles soluciones para cumplir con las normativas vigentes para vertimientos.

Ilustración 12: Esquema fase de resultados



Fuente: Autores

13. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y CÁLCULO DE CAUDALES

La población del municipio de Chía Cundinamarca ha tenido una de las tasas de crecimientos más altos del país, puesto que Chía es uno de los receptores de población migrante de la ciudad de Bogotá y de la sabana. Para el análisis del crecimiento poblacional es necesario remitirse a los censos realizados por el DANE desde 1951 a 2005 (**Véase tabla 6**) y realizar la proyección de demanda a 25 años por los métodos que sugiere la Ras 2000 y la resolución 0330 de 2017, aritmética geométrica y exponencial, más 1 año de diseño, pues actualmente el municipio de Chía con el respaldo de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) han comenzado la fase de diseño para una ampliación de PTAR CHIA I según el ingeniero Jesús Ernesto Torres quien asistió a la reunión final de factibilidad.

Tabla 5:Censo población cabecera municipio de Chía

CENSOS POBLACIÓN MUNICIPIO DE CHÍA	
AÑO	CENSO
1951	2698
1964	5655
1973	9355
1985	24709
1993	41632
2005	73852
2018	105509

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

13.1. MÉTODO ARITMÉTICO

El método aritmético es un método netamente teórico, por esta razón la proyección de población mediante este método rara vez concuerda con el presente tipo de crecimiento, ya que solo tiene en cuenta dos tamaños de población en dos tiempos distintos. En el que supone un crecimiento vegetativo balanceado a causa de la mortalidad y la emigración.

La población futura se calcula a mediante (**véase ecuación 1**)

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc}-P_{ci}}{T_{uc}-T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Ecuación 1: Población final método aritmético

Donde:

Pf: Población futura para el tiempo estimado en el diseño.

Puc: Población del último año censado.

Pci: Población correspondiente al año inicial.

Tuc: Año correspondiente al último censo

Tci: Año correspondiente al censo inicial.

Tf: Año para el cual se quiere proyectar.

Mediante la (ecuación 1) se proyectó la población 26 años a futuro mediante el método aritmético en intervalos de 5 años (**Véase tabla 7**)

Tabla 6:Proyección aritmética

Comportamiento población casco urbano método aritmético									
AÑO	CENSO	K	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2046
1951	2698	1534	108578	116250	123923	131595	139268	146940	148475
1964	5655	1849	109207	118453	127699	136945	146190	155436	157285
1973	9355	2137	109783	120466	131150	141834	152518	163201	165338
1985	24709	2448	110406	122648	134891	147133	159376	171618	174067
1993	41632	2555	110619	123395	136170	148945	161721	174496	177051
2005	73852	2435	110379	122555	134731	146907	159082	171258	173693
2018	105509								
Promedio		2160	109829	120628	131427	142226	153026	163825	165985

Fuente: Autores

Esta (**véase grafica 1**) evidencia en tono azul el crecimiento de la población a partir de los censos realizados entre 1951 y 2018 y en color rojo los resultados de las proyecciones a 26 años a futuro mediante un crecimiento anual constante.

Gráfica 1: Proyección aritmética



Fuente: Autores

13.2. MÉTODO GEOMÉTRICO

El método de proyección geométrico es imprescindible sobre todo en poblaciones que muestran una importante actividad económica, la cual genera desarrollo y crecimiento a nivel de área de expansión. Por otra parte, cuando las proyecciones se calculan para un periodo corto la tasa de crecimiento es preferida a la aritmética ya que no muestra un crecimiento lineal.

Con la siguiente ecuación (**Véase ecuación 2**) se proyecta la población por medio del método geométrico.

$$P_f = P_{uc} * (1 - r)^{T_i - T_{uc}}$$

Ecuación 2: Población final método geométrico

Mediante esta se conoce como la población del municipio de Chía Cundinamarca está en constante crecimiento (**véase ecuación 3**)

r: Tasa de crecimiento anual en forma decimal

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc-Tci}} - 1$$

Ecuación 3:Tasa de crecimiento

Mediante la (**ecuación 2**) se proyectó la población 26 años a futuro por medio del método geométrico en intervalos de 5 años (**Véase tabla 8**)

Tabla 7: Proyección geométrica

Proyección método Geométrico									
AÑO	CENSO	r	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2046
1951	2698	0.056	117712	154755	203455	267481	351655	462319	488322
1964	5655	0.056	117587	154181	202163	265078	347573	455741	481119
1973	9355	0.055	117505	153806	201321	263515	344922	451478	476453
1985	24709	0.045	115212	143555	178870	222874	277702	346019	361579
1993	41632	0.038	113658	136890	164871	198571	239160	288045	298961
2005	73852	0.028	111461	127853	146656	168224	192963	221341	227499
2018	105509								
	Promedio	0.046	115522	145173	182889	230957	292329	310823	361988

Fuente: Autores

Esta (**véase grafica 2**), evidencia en tono azul el crecimiento de la población a partir de los censos realizados entre 1951 y 2018 y en color rojo los resultados de las proyecciones a 26 años a futuro mediante el método geométrico.

Gráfica 2:Proyección geométrica



Fuente: Autores

13.3. MÉTODO EXPONENCIAL

El método exponencial se considera esencial en población donde se contar con un apreciable desarrollo y abundantes áreas de expiación. Para la aplicación de del método es necesario conocer como mínimo tres censos para determinar el promedio de la tasa de crecimiento de población.

Con la siguiente formula (**véase ecuación 4**) se calcula la población a futuro mediante el método exponencial.

$$Pf = Pci * e^{k*(Tf-Tci)}$$

Ecuación 4: Población final método exponencial

k: Tasa de crecimiento de población

$$k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca}$$

Ecuación 5: Tasa de crecimiento exponencial

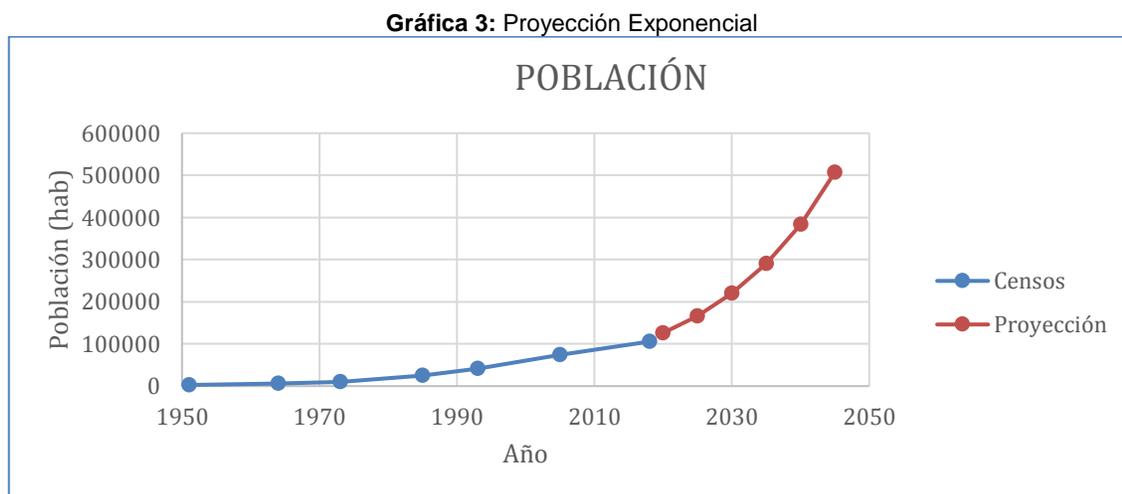
Mediante la (**ecuación 4**) se proyectó la población 26 años a futuro por medio del método exponencial en intervalos de 5 años (**Véase tabla 9**)

Tabla 8: Proyección exponencial

Proyección método Exponencial									
AÑO	CENSO	kg	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2046
1951	2698	0.057	125960	166413	219859	290469	383757	507005	536047
1964	5655	0.056							
1973	9355	0.081							
1985	24709	0.065							
1993	41632	0.048							
2005	73852	0.027							
2018	105509								
	Promedio	0.056	125960	166413	219859	290469	383757	507005	536047

Fuente: Autores

Esta (**véase grafica 3**) evidencia en tono azul el crecimiento de la población a partir de los censos realizados entre 1951 y 2018 y en color rojo los resultados de las proyecciones a 26 años a futuro mediante el método geométrico.



Fuente: Autores

13.4. PROMEDIOS HABITANTES

Al determinar las proyecciones de población por los métodos aritmético, geométrico, y exponencial se tienen los datos de partida para realizar el promedio (**véase tabla11**) y obtener la población proyectada a 26 años de la población cabecera,

Tabla 9: Resumen de proyección 2020, 2030, 2045 y 2046

RESUMEN DE DATOS					
METODO	2020	2025	2030	2045	2046
ARITMÉTICO	109829	120628	131427	163825	165985
GEOMÉTRICO	115522	145173	182889	310823	361988
LOGARÍTMICO	125960	166413	219859	507005	536047

Fuente: Autores

13.5. CÁLCULO DE DOTACIÓN

El cálculo de la dotación neta per cápita es indispensable para definir los caudales de diseño pues esta define los aportes unitarios de cada habitante. Para el

municipio de Chía la dotación neta máxima corresponde a 120 L/Hab*día (**Véase tabla 12**) que exige la resolución 330 de 2017, ya que se encuentra a 2550 m.s.n.m altura promedio

13.5.1.DOTACIÓN NETA

Tabla 10: Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar

Altura promedio sobre el nivel de mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/Hab*día)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Resolución 0330 de 2017

13.5.2.DOTACIÓN BRUTA

Debemos garantizar como mínimo 120 litros de agua potable por habitante al día como se puede identificar en la anterior tabla y por medio de la siguiente ecuación (**véase ecuación 6**) se calcula la dotación bruta según la resolución 0330 de 2017.

Fuente:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \% P}$$

Ecuación 6 :Dotación Bruta

Donde:

d_{bruta} : Dotación bruta

d_{neta} : Dotación neta

% P: Pérdidas máximas admisibles;

El porcentaje de pérdidas máximas admisibles el cual no debe superar el 25 %

$$d_{bruta} = \frac{120 \frac{L * Hab}{Dia}}{1 - 0.25}$$

$$d_{bruta} = 160 \frac{L * Hab}{Dia}$$

13.6. CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)

Cantidad total de un líquido que llega a Chía Cundinamarca, dividido por el tiempo de en qué se han efectuado mediciones de caudal. (véase ecuación 7)

$$Q_{md} = \frac{P_f * d_{bruta}}{T}$$

Ecuación 7: Caudal medio diario

$$Q_{md} = \frac{361988_{Habitantes} * 160 \frac{L * Hab}{Dia}}{86400_{Segundos}}$$

$$Q_{md} = 670.35 \frac{L}{s}$$

13.7. CAUDAL DE INFILTRACIÓN (Qi)

Para la estimación de cálculo de caudal de aguas residuales se debe tener en cuenta la resolución 0330-2017, Art 134 donde se especifica valores de 0.1 y 0.3 L/s.Ha para como factor de infiltración. Se toma el factor 01 l/s.Ha, según características topográficas del suelo. (véase ecuación 8)

$$Q_I = 0.1 \frac{L}{s * Ha} * A$$

Ecuación 8: Caudal de infiltración.

$$Q_I = 0.1 \frac{L}{s * Ha} * 1694.3Ha$$

$$Q_I = 169.43 \frac{L}{s}$$

13.8. CAUDAL DE DISEÑO (QD):

$$Q_D = 642.996 \frac{L}{s} * 0.85 + Q_I$$

Ecuación 9:Caudal de diseño

$$Q_D = 670.35 \frac{L}{s} * 0.85 + 169.43$$

$$Q_{AR} = 739.23 \frac{L}{s}$$

13.9. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (QMD)

es el máximo consumo que se espera realice la población en un día y se calcula como un factor de mayoración (**véase ecuación 10**)

Según el “Artículo 47 párrafo 2º” [1] de la resolución 330 de 2017, los factores de mayoración para una población mayor a 12500 habitantes el factor $K_1 = 1.2$ y el factor $K_2 = 1.5$

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1$$

Ecuación 10:Caudal máximo diario

$$Q_{MD} = 670.35 * 1.2$$

$$Q_{MD} = 804.42 \frac{L}{S}$$

13.10. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH)

$$Q_{MH} = Q_{MD} * K_2$$

Ecuación 11: Caudal máximo horario

$$Q_{MH} = 804.42 \frac{L}{S} * 1.5$$

$$Q_{MH} = 1157.39 \frac{L}{S}$$

14. ANÁLISIS INTEGRAL DE CAUDALES MUNICIPIO DE CHÍA

Actualmente el municipio de Chía cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales PTAR CHÍA I, la cual fue diseñada para operar 100 L/s y para finales del primer semestre del año 2020 se proyecta tratar un caudal de 320 L/s en la nueva PTAR Chía II (**Véase ilustración 12**). Por lo tanto, el municipio tendrá el control y el saneamiento de 420 L/s de vertimientos sobre la cuenca del Río Bogotá acorde a los caudales proyectados para 2020 (**Véase tabla 13**).

Ilustración 13: Ubicación plantas de tratamiento Chía



Fuente: ALCALDÍA Cundinamarca, <https://www.chía-cundinamarca.gov.co/POT2016/CARTOGRAFIA/>, [En línea] 03 de agosto 2016. [Citado el: 19 de septiembre de 2019.]

Tabla 11: Resumen caudales 2020, 2030, 2045,2046

Resumen de caudales										
Caudales año	2020		2025		2030		2045		2046	
Qmd	213.93	L/s	268.84	L/s	338.68	L/s	575.60	L/s	670.35	L/s
QMD	256.72	L/s	322.61	L/s	406.42	L/s	690.72	L/s	804.42	L/s
QMH	385.07	L/s	483.91	L/s	609.63	L/s	1036.08	L/s	1206.63	L/s
QD	351.27	L/s	397.94	L/s	457.31	L/s	658.69	L/s	739.23	L/s

Fuente: Autores

En segundo lugar, el caudal proyectado a 2045 o 25 años a futuro es de 658.69 L/s superior a los 420 L/s que serán tratados a finales del primer semestre del presente año (**Véase tabla 13**), por esta razón el municipio de Chía con el respaldo de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) realizó el proceso de prefactibilidad y factibilidad, y actualmente se lleva a cabo el proceso de diseño para la ampliación de PTAR 1 con el fin de brindar 320 L/s adicionales a los que normalmente opera. Por consiguiente, se ha tenido en cuenta un año más para la etapa de diseño en progreso llevándolas a 2046 ó 26 años a futuro.

Acorde a es esto el municipio de Chía tendrá para el año 2046 tendrá en control de 740 L/s acorde a los caudales proyectados (**Véase tabla 13**), por lo tanto, el municipio estaría dándole cumplimiento a la normativa establecida en termino de caudales.

15. DIAGNÓSTICO PTAR CHÍA I

Al analizar los laboratorios realizados por ANALQUIM LTDA y acreditados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se pudo identificar y evaluar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos que recibe la PTAR CHÍA I así como también los parámetros de salida de la planta teniendo en cuenta los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas,(ARD) y aguas residuales (ARD-ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales contemplados en el capítulo V Art 8 de la resolución 0631 de 2015.

Tabla 12: Laboratorio ANALQUIM LTDA acreditado IDEAM

INFORME LABORATORIO CALIDAD DE AGUA RESIDUAL PTAR CHIA I							
Fecha 27/01/2014							
Caudal de entrada	108.7						
Parámetros	Unidades	Afluente	Salida Pretratamiento	Salida Laguna	Efluente	Norma	Cumple
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	31x10E5	58X10E6	32X10E6	79X10E6	NA	NA
Coliformes Totales	NMP/100 ml	14,1X10E7	15X10E7	11X10E6	18,8X10E7	NA	NA
Conductividad Eléctrica	Micro S/cm	945	996	965	947	NA	NA
D.B.O.	mg/L	412	330	302	234	<90	NO
D.Q.O	mg/L	733	498	402	339	<180	NO
E. Coli	NMP/100 ml	25x10E5	46x10E6	30x10E6	70x10E6	NA	NA
PH	Unidades	6,84	7,01	6,87	6,99	6.0 - 9.0	SI
Solidos Sedimentables	mg/L	0,7	0,7	0,9	0,2	<5	SI
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	235	230	82	69	<90	SI

Fuente Consultoría Resultados de Laboratorio ANALQUIM LTDA acreditado IDEAM

Fuente: ANALQUIM LTDA

Tabla 13: Laboratorio ANALQUIM LTDA acreditado IDEAM

INFORME LABORATORIO CALIDAD DE AGUA RESIDUAL PTAR CHIA I							
Fecha 03/03/2014							
Caudal de entrada	90.3						
Parámetros	Unidades	Afluente	Salida Pretratamiento	Salida Laguna	Efluente	Norma	Cumple
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	70x10E6	58 X10E6	41X10E6	17 X10E5	NA	NA
Coliformes Totales	NMP/100 ml	19 X10E7	17.8X10E7	15.1X10E6	13.9 X10E6	NA	NA
Conductividad Eléctrica	Micro S/cm	1000	996	779	718	NA	NA
D.B.O.	mg/L	360	324	167	89	<90	SI
D.Q.O	mg/L	476	425	220	99	<180	SI
E. Coli	NMP/100 ml	70 x10E6	50.4 x10E6	40 x10E6	16.6x10E5	NA	NA
PH	Unidades	7.12	7.18	6,96	7.19	6.0 - 9.0	SI
Solidos Sedimentables	mg/L	0.6	0,5	0,1	<0,1	<5	SI
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	167	176	52	45	<90	SI

Fuente Consultoría Resultados de Laboratorio ANALQUIM LTDA acreditado IDEAM

Fuente: ANALQUIM LTDA

Según el informe de laboratorio de calidad de agua residual efectuado el 27/01/2014 (**Véase Tabla 14**) se diagnosticó parámetros superiores a los admitidos por norma como DBO y DQO, lo cual demuestra que la PTAR CHÍA I no cumple con la nueva normativa de 2015 esto puede ser debido a que se está superando el caudal de entrada, sin embargo, en el laboratorio de 03/03/2014 (**Véase Tabla 15**) se registran un caudal menor y con parámetros de DBO y DQO acordes a la norma. En términos como PH, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se encuentran dentro del rango.

16. PROPUESTA TÉCNICA DE MEJORAMIENTO

Teniendo en cuenta el análisis de caudales (capítulo 13) y el diagnóstico PTAR CHÍA I (capítulo 14) se propone la construcción de cuatro módulos de tratamiento de aguas residuales de 160 L/s cada uno (**Véase ilustración 13**). Diseñados por medio del sistema de lodos activados, dos para el servicio del área oriental del municipio y apoyo de PTAR CHÍA I y dos módulos para el área occidental como planteamiento de la operación de la nueva PTAR CHÍA II ya que no fue posible tener información a detalle.

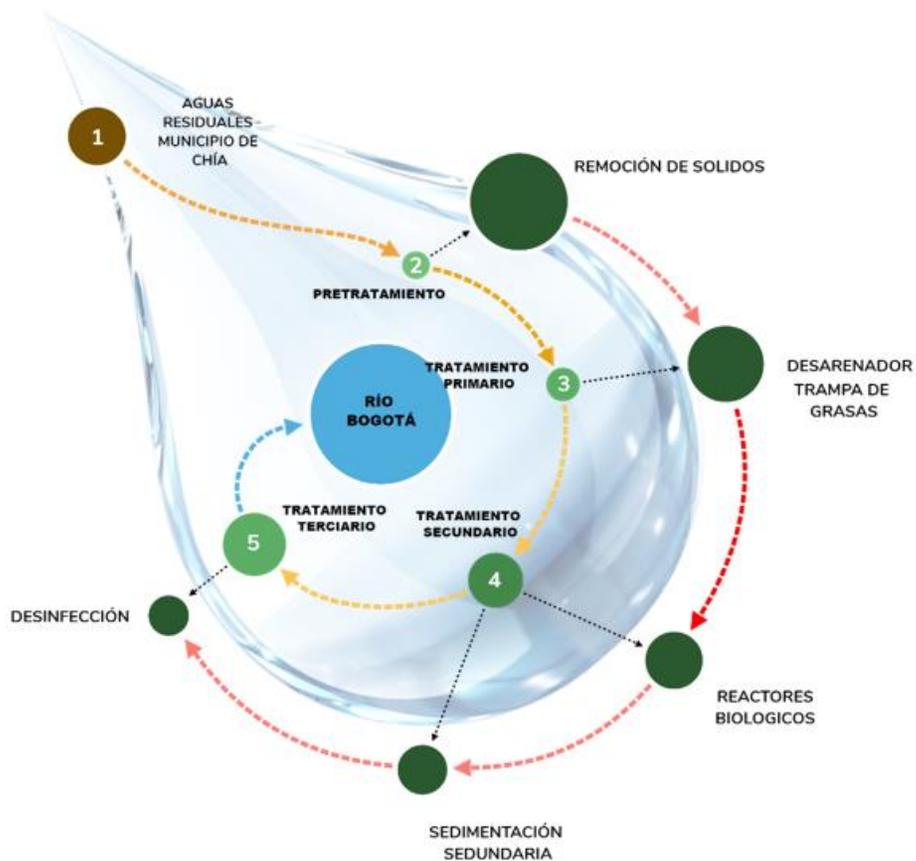


Fuente: Autores

PTAR CHIA I es una planta diseñada a partir de lagunas de aireación y lagunas facultativas, sistemas que abarca una gran superficie y producen malos olores según experiencias de los habitantes de la zona. El tratamiento de lodos activados garantizará una mejor eficiencia y remoción de contaminantes con un tiempo de retención inferior y una producción de olores menor a la existente. Estos dos módulos en el ala oriental garantizarán 320 L/s que sumados a los 100 L/s que opera la PTAR CHÍA I y los 320 L/s que tratará PTAR CHÍA II a finales del segundo semestre del año en curso se tendría un caudal total de 740 L/s para el año 2046 (Véase ilustración 13).

Para cada módulo se tendrá dispuesto tratamientos primario, secundario y terciario (Véase ilustración 14), esto basado en un tratamiento de lodos convencional acoplado a una remoción de sólidos gruesos, remoción de sólidos finos y grasas, posterior al tratamiento secundario se tendrá un tratamiento terciario o de desinfección por medio de cloro.

Ilustración 15: Propuesta técnica de mejoramiento



Fuente: Autores

16.1. DESBASTE

Se proyecta un canal de desbaste. El cual está equipados en primer lugar con rejilla de gruesos de limpieza manual de 20 mm de paso. Esta línea automatizada será capaz de tratar la 320 l/s caudal horizonte (Año 2045).

16.1.1.DISEÑO DE CANAL DE ENTRADA

Datos:

$$Q=320\text{l/s} = 0.32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.013$$

$$s=0.04$$

Ecuaciones por implementar

Caudal de diseño

estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema (véase ecuación 12)

$$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} \times \sqrt{S}}{n \times P^{\frac{2}{3}}}$$

Ecuación 12: Caudal de diseño

$$A = 2Y^2$$

Ecuación 13: Área del canal

$$P = 4Y$$

Ecuación 14: Perímetro mojado

Remplazando

$$0.32 = \frac{(2Y^2)^{\frac{5}{3}} \times \sqrt{0.004}}{0.013 \times 4Y^{\frac{2}{3}}}$$

Ecuación 15: Altura lámina de agua

$$Y = 0.393 \text{ m} \approx 0.4 \text{ m}$$

Perímetro mojado

$$P = b + 2y$$

$$p = 4 \times 0.40 = 1.6 \text{ m}$$

$$1.6 = b + 2(0.4)$$

$$b = 0.8 \text{ m} = 0.8\text{m}$$

Cálculo de borde libre

$$bl = 0.3\text{m a criterio}$$

Altura del canal

$$h = 0.3\text{m} + 0.40\text{m} = 0.70\text{m}$$

16.2. REJILLA

Se diseña una rejilla inclinada para realizar una limpieza manual, esta cuenta con un espacio entre barrotes de 20mm y teniendo en cuenta valores típicos encontrados en la literatura (**Véase tabla 16**), Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja de esta forma, el desbaste se clasifica de acuerdo con la separación entre los barrotes de la reja. Estas rejas se utilizan en pequeñas o grandes instalaciones donde ayudan a proteger bombas y tornillos en caso de que sea necesario utilizarlos antes del bombeo para elevar el agua hasta la estación del desbaste.

Parámetros

Tabla 14: Parámetros de diseño rejilla

PARÁMETROS	RANGO
Velocidad máxima de aproximación para caudal máximo	1,2 (m/s)
Velocidad máxima de paso entre las rejillas a caudal mínimo	0.3 (m /s)
Borde libre a QMáx. Máxima pérdida de carga	0.15 m
Gruesas	4 a 10 cm de separación
Finas	1 y <2 cm de separación

Fuente: Autores

Datos de entrada

Tabla 15: Datos iniciales rejilla

DATOS		
Q	320	l/s
Q	0.32	m ³ /s
b	0.02	m
s	0.5	cm
Ancho de canal	0.80	m
Alto de canal	0.70	m
V	0.8	m/s
Inclinación	45°	

Fuente: Autores

Altura de la lámina de agua

$$Q = V \times A$$

Ecuación 16: Caudal de diseño

$$\frac{0.32\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{0.8\text{m}}{\text{s}} \times (0.80 \times h)$$

Ecuación 17: Altura de la rejilla

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

Superficie de vacíos

$$Sh = \frac{Q}{VP}$$

Ecuación 18: Superficie de vacíos

$$Sh = \frac{0.32m^3/s}{0.8 m/s} = 0.4m^2$$

Longitud sumergida

$$Lr = \frac{h}{\text{sen}\alpha}$$

Ecuación 19: Longitud sumergida

$$Lr = \frac{0.5m}{\text{sen}(45^\circ)} = 0.707m$$

Número de barrotes

$$Er = \frac{Sh}{Lr}$$

Ecuación 20: Numero de barrotes

$$Er = \frac{0.4m^2}{0.707m} = 0.565m$$

$$Er = (n + 1) \times b$$

$$\frac{Er}{b} - 1 = n$$

$$Er = \frac{0.565m}{0.02m} - 1 = 28 \text{ Barrotes}$$

Número de espacios

$$n + 1 = 28 + 1 = 29 \text{ Espacios}$$

Ecuación 21: Numero de espacios

Ancho de la zona de la rejilla

$$n = \frac{A - b}{S - b}$$

$$A = n(s \times b) + b$$

Ecuación 22:Ancho de la zona de la rejilla

$$A = 29(0.005 + 0.02) + 0.02$$

$$A = 0.745\text{m}^2$$

Pérdidas de energía

$$\Delta h = \beta \times \frac{s^{1.32}}{b} \times \frac{vp^2}{2g} \times \text{sen } \alpha$$

Ecuación 23:Perdidas de energía

$$\Delta h = 1.79 \times \frac{0.005^{1.32}}{0.02} \times \frac{0.8^2}{2(9.81)} \times \text{sen } 45^\circ$$

$$\Delta h = 1.89 \times 10^{-3}$$

16.3. CANALETA PARSHALL

Se plantea el diseño de una canaleta Parshall con el método de diseño planteado en la literatura Ven Te Chow en la cual se establece un ancho de garganta de 3" (**véase tabla 21**) y una profundidad aguas abajo de 2ft esta es una estructura a flujo crítico utilizada para la medición de caudales. El método es eficiente para el registro continuo del caudal a tratar. se movilizan grandes volúmenes de líquido.

Datos iniciales (**véase tabla 18**)

Datos iniciales

Tabla 16: Datos iniciales canaleta parshall

Canaleta Parshall		
Datos		Unidad
QMD	0.32	m ³ /s
	11.30	ft ³ /s
D (Profundidad Aguas Abajo)	2	ft
Sugerencia S	70%	

Fuente: Autores

Se asume un ancho de garganta de 3ft

Ancho de garganta

3"
6"
9"
12" a 8'
10' a 50'

Ecuación

$Q = 0.992H_a^{1.547}$
 $Q = 2.06H_a^{1.58}$
 $Q = 3.07H_a^{1.53}$
 $Q = 4WH_a^{1.522}W^{0.026}$
 $Q = (3.6875W + 2.5)H_a^{1.6}$

Ecuación Ha según ancho de garganta.

Tabla 17: Ancho de garganta

Q	0.32	ft ³ /s
W	3	ft
Ha	1.63	ft
	0.50	m

Fuente: Autores

$$H_b = H_a \times \text{Sumergencia}$$

Ecuación 24 :Altura según ancho de garganta

$$H_b = 1.63 \times 0.7 = 1.14\text{m}$$

Elevación de la cresta

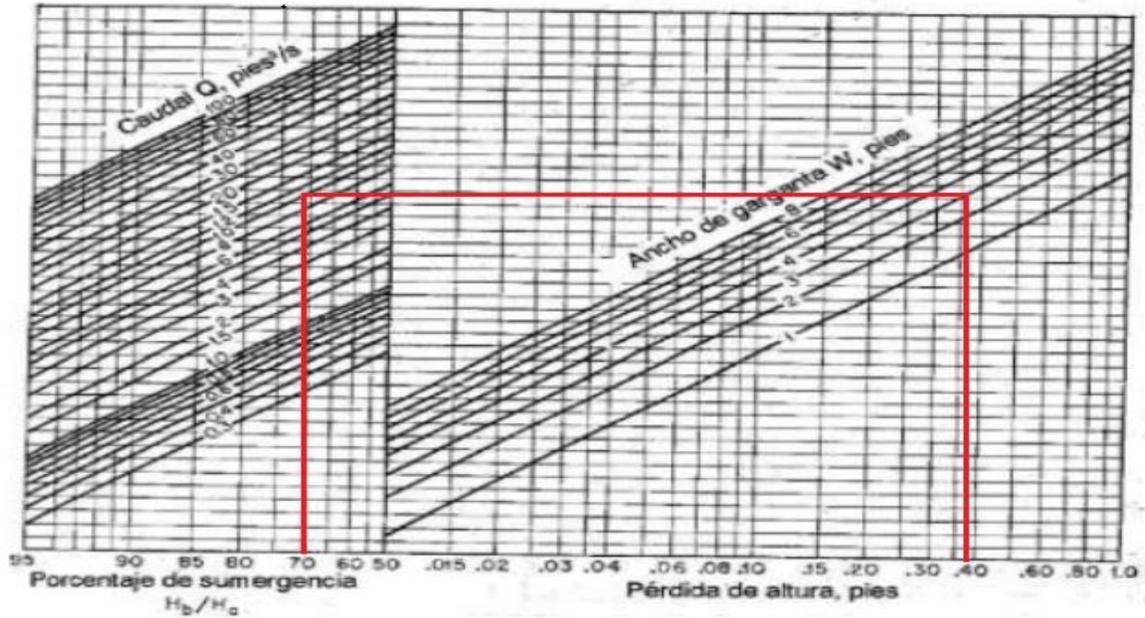
$$H = D - H_b$$

Ecuación 25:elevación de cresta

$$H = 2\text{ft} - 1.14\text{ft} = 0.86$$

Diagrama de pérdidas de altura a través de la Canaleta

Gráfica 4: Diagrama de pérdidas de altura a través de la Canaleta



Fuente: Literatura Ven Te Chow

Profundidad Aguas Arriba

$$X_{Aa} = D + \text{Perdidas de Altura}$$

Ecuación 26: Profundidad aguas arriba

XAa	2.38	ft
	0.73	m

Tabla 18: Dimensión y capacidad de las canaletas de medición. parshall, para varios anchos de garganta

Dimensiones y capacidades de las canaletas de medición. Parshall, para varios anchos de garganta, W
 [Las dimensiones correspondientes a cada letra se muestran en la figura 4-6]

W	A		3/4 A		B		C		D		E		F		G		K		N		R		M		P		X		Y		Capacidad a flujo libre	
	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pie	Pulg.	Pulg.	Pie	Pulg.	Min	Max											
0 3	1 65/8	1 3/4	1 0	0 7	0 103/16	2 0	0 6	1 0	1 23/8	1 4	1 0	2 63/8	1 13/8	2 3	0 03	1 0																
0 6	2 3/4	1 43/8	2 0	1 33/8	1 33/8	2 0	1 0	2 0	3 43/8	1 4	1 0	2 113/8	2 3	3	.05	3 0																
0 9	2 103/8	1 113/8	2 10	1 3	1 103/8	2 0	1 0	1 6	3 43/8	1 4	1 0	3 03/8	2 3	3	.09	8 0																
1 0	4 6	3 0	4 43/8	2 0	2 93/8	3 0	2 0	3 0	3 9	1 8	1 3	4 103/8	2 3	3	.11	16 1																
1 6	4 9	3 2	4 73/8	2 6	3 43/8	3 0	2 0	3 0	3 9	1 8	1 3	5 0	2 3	3	.15	24 6																
2 0	5 0	3 4	5 107/8	3 0	3 113/8	3 0	2 0	3 0	3 9	1 8	1 3	6 1	2 3	3	.42	33 1																
3 0	5 6	3 8	5 43/8	4 0	5 13/8	3 0	2 0	3 0	3 9	1 8	1 3	7 33/8	2 3	3	.61	60 4																
4 0	6 0	4 0	5 103/8	5 0	6 43/8	3 0	3 0	3 0	3 9	2 0	1 6	8 103/8	2 3	3	1 3	67 9																
5 0	6 6	4 4	6 43/8	6 0	7 63/8	3 0	2 0	3 0	3 9	2 0	1 6	10 13/8	2 3	3	1 6	85 6																
6 0	7 0	4 8	6 103/8	7 0	8 9	3 0	2 0	3 0	3 9	2 0	1 6	11 33/8	2 3	3	2 6	103 6																
7 0	7 5	5 0	7 43/8	8 0	9 113/8	3 0	2 0	3 0	3 9	2 0	1 6	12 6	2 3	3	3 0	121 4																
8 0	8 0	5 4	7 103/8	9 0	11 13/8	3 0	2 0	3 0	3 9	2 0	1 6	13 83/8	2 3	3	3 5	139 6																

Fuente: Literatura Ven Te Chow

Tabla 19: Resumen Dimensiones Canaleta Parshall W=3

Tabla Resumen Dimensiones Canaleta Parshall W=3				
Variable	Sistema Ingles		Sistema Internacional	
W	3	ft	0.91	m
A	5	ft	1.52	m
2/3A	3	ft	0.91	m
B	5	ft	1.52	m
C	4	ft	1.22	m
D	5	ft	1.52	m
E	3	ft	0.91	m
F	2	ft	0.61	m
G	3	ft	0.91	m
K	3	in	0.08	m
N	9	in	0.23	m
R	1	ft	0.30	m
M	1	ft	0.46	m
	3	in		
P	7	ft	2.13	m
X	2	in	0.05	m
Y	3	in	0.08	m
Cap. A flujo libre Mínimo	0.61	ft ³ /s	0.02	m ³ /s
Cap. A flujo libre Máximo	50.4	ft ³ /s	1.43	m ³ /s

Fuente: Literatura Ven Te Chow

Con las dimensiones recomendados por el método de Ven Te Chow se realizó el plano con las dimensiones necesarias ver plano 2 anexo 1

16.4. DESARENADOR

Se proyecta el diseño de dos desarenadores de las mismas dimensiones para cumplir con un caudal de 320 l/s. Estos tienen un ancho de 6.98 m. y 20.93 m. de longitud. Las arenas serán extraídas de los desarenadores mediante dos bombas (una por desarenador) desplazado y ejecución vertical, con un caudal unitario de 0.32 m³/s. Se ha previsto la instalación de un lavador de arena del tipo de tornillo, así como de un concentrador de grasas, ambos dimensionados para los requerimientos de la instalación Proyectada. Se instalan dos suplantes con sus correspondientes difusores para la aireación de los recintos.

El sistema proyectado proporciona el rendimiento en la separación de arenas y grasas previsto, siendo de sencillo funcionamiento y mantenimiento. A la salida de los canales de desbaste se instala un bypass, para labores de mantenimiento. (**Ilustración 15**)

Ilustración 16: Desarenador



Fuente: <https://estruagua.com/productos/puente-desengrasador-desarenador-longitudinal-longbri/>

Características

- El flujo de entrada y salida es uniforme
- Tiene 3 zonas: entrada -salida -lodos
- La distribución de partículas es uniforme
- Las partículas que entran a la zona de lodos se quedan allí hasta que son barridas.

parámetros

Tabla 20: Parámetros de diseño -Desarenador

parámetros	RANGO
Diámetro mínimo de remoción de partícula	0.1mm
Velocidad horizontal Máxima	0.25 m/s
Densidad de las arenas	2.65 g/cm ³
velocidad horizontal y vertical	<20
pendiente de fondo	10%

Fuente: Autores

Datos iniciales

Tabla 21: Datos iniciales -Desarenador

DATOS		
Q	160	l/s
Q	0.16	m ³ /s
d partícula	0.1	mm
ρArena	2.65	gr/cm ³
ρAgua	1	gr/cm ³
v dinámica	0.0105	gr/cm
T retención	10	min

Fuente: Autores

- Cálculo de los parámetros de sedimentación

La velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} * d^2$$

Ecuación 27: Velocidad de sedimentación.

Donde:

V_s : Velocidad de sedimentación de la partícula $\left(\frac{cm}{s}\right)$

g : Aceleración de la gravedad (cm)

γ_s : Peso específico de las arenas $\left(2.65 \frac{gr}{cm^3}\right)$

γ : peso específico del fluido agua $\left(1 \frac{gr}{cm^3}\right)$

ν : Viscosidad cinemática del fluido agua $14^\circ \left(0.01172 \frac{cm^2}{s}\right)$

d : diámetro de las partículas de arena a remover (0.01cm)

$$V_s = \frac{981 \frac{cm}{s^2}}{18} * \frac{\left(2.65 \frac{gr}{cm^3} - 1 \frac{gr}{cm^3}\right)}{0.01172 \frac{cm^2}{s}} * (0.01cm)^2$$

$$V_s = 0.767 \frac{cm}{s}$$

Para $n = 1$ y remoción de partículas del **87.5%**: $\frac{\theta}{t} = 7.0$

Suponiendo la profundidad útil de sedimentación, $H=1.5$ m.

El tiempo que tardaría la partícula de diámetro 0.01cm en llegar al fondo sería de:

$$t = \frac{H}{V_s}$$

Ecuación 28:Tiempo que tarda la partícula en llegar al fondo

$$t = \frac{150 \text{ cm}}{0.767 \frac{cm}{s}}$$

$$t = 195 \text{ s}$$

El período de retención hidráulico será de:

$$\theta = 7.0 * 195 \text{ s}$$

Ecuación 29:Periodo de retención hidráulico

$$\theta = 1368 \text{ s}$$

$$\theta = 0.38 \text{ hr}$$

El volumen del tanque será:

$$V = \theta * Q_{diseño}$$

Ecuación 30:Volumen del tanque

$$V = 1365 \text{ s} * 0.16 \frac{m^3}{s}$$

$$V = 218.96 \text{ m}^3$$

El área superficial del tanque es:

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

Ecuación 31: Área superficial del tanque

$$A_s = \frac{218.96 \text{ m}^3}{1.5 \text{ m}}$$

$$A_s = 145.97 \text{ m}^2$$

Las dimensiones del tanque serán:

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

Ecuación 32: Base del tanque

$$B = \sqrt{\frac{145.97 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B = 6.98 \text{ m}$$

$$L = 3 * B$$

Ecuación 33: Relación de longitud respecto a la base

$$L = 3 * 6.98 \text{ m}$$

$$L = 20.93 \text{ m}$$

La carga hidráulica superficial para este tanque será de:

$$q = \frac{Q}{A_s}$$

Ecuación 34: Carga hidráulica

$$q = \frac{0.16 \frac{m^3}{s}}{145.97 m^2}$$

$$q = 0,001096112 \frac{m^3}{m^2 * s}$$

$$q = 0,001096112 \frac{m^3}{m^2 * s} * 86400$$

$$q = 97.40 \frac{m^3}{m^2 * d}$$

$$15 \frac{m^3}{m^2 * d} \leq q \leq 80 \frac{m^3}{m^2 * d}$$

La carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica en condiciones teóricas, la cual corresponde a la de un diámetro menor:

$$V_o = q = 0.001096112 \frac{m}{s} = 0.110 \frac{cm}{s}$$

$$d_o = \sqrt{\frac{V_o * 18 * \mu}{g * (\rho_s - \rho)}}$$

Ecuación 35: Diametro menor de partícula

$$d_o = \sqrt{\frac{0.110 * 18 * 0.01172}{981 * (2.65 - 1)}}$$

$$d_o = 0.00378 \text{ cm} \rightarrow d_o = 0.04 \text{ mm}$$

$$\frac{\theta}{t} = \frac{V_s}{V_o} = \frac{0.767 \frac{cm}{s}}{0.110 \frac{cm}{s}} \cong 7.0$$

La velocidad horizontal será:

$$V_h = \frac{Q}{W} = \frac{V_o * l}{H} = \frac{0.110 \frac{cm}{s} * 20.93 m}{1.5 m}$$

Ecuación 36:Velocidad horizontal

$$V_h = 1.529 \frac{cm}{s}$$

La velocidad horizontal máxima es:

$$V_{h\text{máx}} = 20 * V_s$$

Ecuación 37:Velocidad horizontal máxima

$$V_{h\text{máx}} = 20 * 0.767 \frac{cm}{s}$$

$$V_{h\text{máx}} = 13.14 \frac{cm}{s}$$

La velocidad de Resuspensión es:

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * k}{f} * g * (\rho_s - \rho) * d}$$

Ecuación 38:Velocidad de resuspensión

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * 0.04}{0.03} * 981 * (2.65 - 1.00) * 0.01}$$

$$V_r = 13.14 \frac{cm}{s}$$

Cálculo de los elementos del desarenador

Vertedero de salida:

$$H_v = \left(\frac{Q}{1.84 * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 39 Ecuación de Francis

$$H_v = \left(\frac{0.16 \frac{m^3}{s}}{1.84 * 6.98 m} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_v = 0.054 m$$

$$V_v = \frac{Q}{B * H_v}$$

Ecuación 40 Velocidad

$$V_v = \frac{0.16 \frac{m^3}{s}}{6.98 m * 0.054 m}$$

$$V_v = 0.43 \frac{m}{s}$$

La velocidad sobre la cresta del vertedero debe ser mayor de 0.3 m/s para poder aplicar la ecuación de alcance horizontal de la vena vertiente:

$$X_s = 0.36 * (V_v)^{\frac{2}{3}} + 0.60 * (H_v)^{\frac{4}{7}}$$

Ecuación 41: Ecuación de alcance horizontal

$$X_s = 0.36 * \left(0.43 \frac{m}{s} \right)^{\frac{2}{3}} + 0.60 * (0.054 m)^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0.32 \text{ m}$$

Pantalla de salida:

$$\checkmark \text{ Profundidad} = \frac{H}{2} = \frac{1.50}{2} = 0.75 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Dist. al vertedero de salida} = 15H_v = 15 * 0.054\text{m} = 0.81 \text{ m}$$

Pantalla de entrada

$$\checkmark \text{ Profundidad} = \frac{H}{2} = \frac{1.50}{2} = 0.75 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Distancia a la cámara de quietamiento} = \frac{L}{4} = \frac{20.93 \text{ m}}{4} = 5.23 \text{ m}$$

Almacenamiento de Lodos:

$$\checkmark \text{ Relación longitud: Prof. Lodos} = 10 \text{ veces}$$

$$\checkmark \text{ Profundidad máxima} = \frac{20.93 \text{ m}}{10} = 2.09 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Profundidad máxima adoptada} = 1.00 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Profundidad mínima adoptada} = 0.8 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Dist. pto. salida a la cámara de quietamiento} = \frac{20.93 \text{ m}}{3} = 6.98\text{m}$$

$$\checkmark \text{ Dist. pto. de salida al vertedero salida} = \frac{2*20.93 \text{ m}}{3} = 13.95 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Pendiente transversal} = \frac{1.0-0.8}{6.98} = 2.9\%$$

$$\checkmark \text{ Pendiente longitudinal (en } \frac{L}{3}) = \frac{1.0-0.8}{6.98} = 2.9\%$$

$$\checkmark \text{ Pendiente longitudinal (en } \frac{2L}{3}) = \frac{1.0-0.8}{13.95} = 1.4\%$$

Cámara de Quietamiento

$$\checkmark \text{ Profundidad} = \frac{H}{3} = \frac{1.50}{3} = 0.50 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Ancho} = \frac{B}{3} = \frac{3.18}{3} = 2.33 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Largo (adoptado)} = 1.00 \text{ m}$$

16.5. REACTOR BIOLÓGICO

Ilustración 17: Reactor biológico

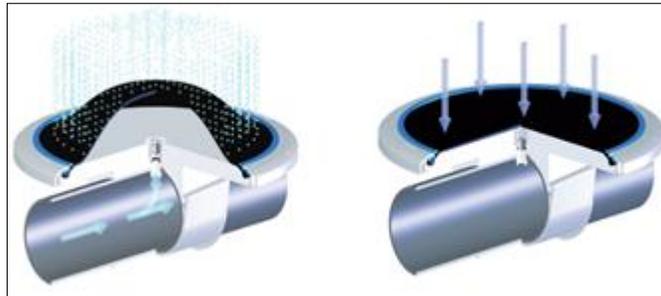


Fuente: REYES. Alejandra Diagnóstico de la operación de la planta de tratamiento de agua residual (ptar), del municipio de Madrid - Cundinamarca.

Para garantizar 320 L/s se diseñó dos módulos o reactores biológicos de 160 L/s cada uno, con el fin de brindar aireación prolongada y alimentar un cultivo de bacteriano encargado de estabilizar aeróbicamente la materia orgánica del tanque y dar paso flósculos. El volumen total para cada módulo es de 5168m³ el cual se dividió en dos tanques de 2584m³ obteniendo 4 unidades dos para cada módulo. Las condiciones aerobias se mantendrán mediante aireadores mecánicos (**Véase ilustración 17**)¹⁶.

¹⁶ SANIT.Ambient. (08 de Aug de 2019). *Evaluation of wastewater treatment plant with anaerobic reactor receiving sludge from water treatment plant actiflo* . Obtenido de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141341522019000400709&script=sci_arttext

Ilustración 18: Sistema de aireación GAMA ABS PIK 300



Fuente: https://www.sulzer.com/-/media/files/products/compressors-and-aeration/product-information/disc-diffuser-system-type-abs/technical-data-sheets/pik_300_tds_e10460.ashx?la=es-es

Para el diseño se tomó como guía un reactor biológico convencional a partir del procedimiento publicado por el ing. Jairo Alberto Romero Rojas en su libro tratamiento de aguas residuales y teniendo en cuenta los parámetros exigidos por la norma Resolución 0330 de 2017 (**Véase tabla 24**).

Tabla 22: Datos de entrada para diseño de Reactor biológico

DATO INICIAL		CONVERSION	
Q (L/S)	160	Q(L/S)	m ³ /d
			13824

		Norma ó Fuente	Articulo ó pag	Parametro
DBOe (mg/L)	20	RES. 0631 de 2015	Art. 8	<90
ss (mg/L)	20	RES. 0631 de 2015	Art. 8	<90
θc (d)	5	RES. 0330 de 2017	Art. 193	3 a 15
Y	0.6	Libro Jairo Romero Trata. de aguas residuales	pag. 454	Valor Típico
Q (m ³ /d)	13824			
S0 (mg/L)	412	Max. Laboratorio IDEAM		
Kd (d ⁻¹)	0.06	Libro Jairo Romero Trata. de aguas residuales	pag. 454	Valor Típico
X (mg/L)	2500	RES. 0330 de 2017	Art. 193	1000 - 3000
Porcion volatil solidos totales	80%			
con. Total lodo sedi(mg/L)	15000	Libro Jairo Romero Trata. de aguas residuales	pag. 454	Valor Típico
% Aire real	8%	Manual de compresor		

Fuente: Los autores

Cálculo de la DBO soluble del afluente

$$S_e = DBO_e - 0.63SS$$

Ecuación 42: Calculo de DBO soluble del afluente

$$S_e = 20 \frac{mg}{L} - 0.63 * 20 \frac{mg}{L} = 7 \frac{mg}{L}$$

Cálculo biomasa reactor

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

Ecuación 43:Calculo biomasa del reactor

$$XV = \frac{(5 \text{ dias}) * 0.6 * (0.16 * 86400) \frac{m^3}{\text{dia}} * (420 - 7) \frac{g}{m^3}}{1 + 0.06 \text{dias}^{-1} * 5 \text{dias}}$$

$$XV = 1.29 * 10^7 g \text{ SSV} \quad 1.29 * 10^4 kg \text{ SSV}$$

Cálculo volumen reactor

$$V = \frac{XV}{X}$$

Ecuación 44: Volumen reactor

$$V = \frac{1.29 * 10^7}{X} = V = \frac{1.29 * 10^7}{2500 \frac{g}{m^3}} = 5168 m^3$$

Cálculo de producción de lodos

$$P_x = \frac{YQ(S_0 - S)}{1 + k_d \theta_c} = \frac{XV}{\theta_c}$$

Ecuación 45: Producción de lodos

$$\frac{XV2500 \frac{g}{m^3} * 5168m^3}{5 \text{ dias}} = 2584000 \frac{g}{dia} = 2584 \frac{kg \text{ ssv}}{dia}$$

Cálculo de sólidos totales

$$\text{Lodo seco} = \frac{2584 \frac{kg \text{ ssv}}{dia}}{0.8} = 3230 \frac{kg}{dia}$$

Ecuación 46: Sólidos totales

Cálculo de caudal de lodos de desecho

$$Q_w = \frac{3230 * (10^3)}{15000} = 215 \frac{m^3}{dia}$$

Ecuación 47: Caudal de lodos de desecho

Cálculo de caudal de sólidos de desecho

$$Q_R = \frac{QX}{XR - X} = \frac{0.160 \frac{m^3}{s} * 2500 \frac{g}{m^3}}{(0.8 * 15000) - 2500 \frac{g}{m^3}} = 0.0421 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 48: Caudal de sólidos de desecho

$$0.0421 \frac{m^3}{s} = \frac{86400 \text{seg}}{1 \text{ dia}} = 3638 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Cálculo de caudal de recirculación

$$R = \frac{Q_R}{Q} = \frac{3638 \frac{m^3}{\text{dia}}}{0.160 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{m^3}{\text{dia}}} = 26\%$$

Ecuación 49: Caudal de recirculación

Cálculo de tiempo de retención hidráulica

$$\theta = \frac{5168}{0.160 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{m^3}{\text{dia}}} = 0.374 \text{ dia}$$

Ecuación 50: Tiempo de retención hidráulica

$$0.374 \text{ dia} * 24 \frac{h}{\text{dia}} = 9$$

Cálculo de oxígeno requerido

$$DO = 1.5Q(S_o - S_e) - 1.42 XR * QR$$

$$DO = \frac{(1.5 * 0.160 * 86400 (412 - 7) - 1.42(0.8 - 15000) * 215 \frac{m^3}{\text{dia}}}{1000}$$

$$DO = 4734 \frac{kgO_2}{dia}$$

Ecuación 51: Oxígeno requerido

Caudal de aire en condiciones normales

$$Q_{aire} = \frac{DO}{0.232(1.20)}$$

Ecuación 52: Caudal de aire en condiciones normales

$$= \frac{4734 \frac{kgO_2}{dia}}{0.232(1.2) \frac{kg}{m^3}} = 17006 \frac{m^3}{dia}$$

Cálculo de eficiencia de transferencia del equipo de aireación

Eficiencia del 8%

$$Q_{aire} = \frac{17006}{0.08} = 132802 \frac{m^3}{dia}$$

Ecuación 53: Eficiencia de transferencia del equipo de aireación

Cálculo de volumen de aire requerido por unidad de DBO aplicado al tanque de aireación.

$$\frac{Q_{aire}}{DBO} = \frac{212575 \frac{m^3}{dia} * 1000 \frac{g}{kg}}{412 \frac{g}{m^3} * 0.160 * 86400 \frac{m^3}{dia}} = 37 \frac{m^3}{kg}$$

Ecuación 54: Volumen de aire requerido

Cálculo de carga orgánica volumétrica

$$COV = \frac{QS_o}{V} = \frac{(0.160 * 86400) \frac{m^3}{dia} * 420 \frac{g}{m^3}}{5168m^3} = 1102 \frac{gDBO}{m^3} d$$

Ecuación 55: Carga orgánica volumétrica

Cálculo de relación A/M

$$\frac{A}{M} = \frac{SQ_o}{VX} = \frac{(0.160 * 86400) \frac{m^3}{dia} * 412 \frac{g}{m^3}}{5168m^3 * 2500 \frac{g}{m^3}} = 0.44 \text{ dias}^{-1}$$

Ecuación 56: Relación A/M

Cálculo de remoción de DBO total

$$E = \frac{(S_o - S_e)}{S_o} = \frac{412 - 20}{412} = 0.95 = 95\%$$

Ecuación 57: Remoción de DBO total

Cálculo de DBO soluble

$$DBO \text{ Soluble} = \frac{412 - 7}{412} = 0.98 = 98\%$$

Ecuación 58: DBO soluble

Q cada difusor = 11 m³/h

Q aire = 17006 m³/día

$$17006 \frac{m^3}{día} * \frac{1día}{24h} = 708.58 \frac{m^3}{h}$$
$$132802 \frac{m^3}{día} * \frac{1día}{24h} = 5533.41 \frac{m^3}{h}$$
$$\frac{Q_{aire}}{Q_{a/difusor}} = \frac{5533.41}{11} = 503 \text{ difusores}$$

Tabla 23: Resultados obtenidos Reactor biológico

RESULTADOS OBTENIDOS	
Se (mg/L)	7
XV (mg SSV)	12920123
V	5168
PX (Kg SSV/d)	2584
Lodo seco (kg/d)	3230
Qw (m ³ /d)	215
XR (mg/L)	12000
QR (m ³ /d)	3638
R (%)	26%
Θ (d)	0.374
Θ (h)	9
DO (KgO ₂ /d)	4734
Qaire (m ³ /d)	17006
Qaire real	212575
Vaire Qaire/DBO (m ³ /kg)	37
Vaire Qaire/DBOR (m ³ /kg)	38
COV (gDBO/m ³ .d)	1102
A/M (d ⁻¹)	0.44
E DBO total (%)	95%
E DBO soluble (%)	98%

Fuente: Los autores

Tabla 24: Resultados obtenidos Reactor biológico

Número de Difusores
503
2012 Total

Fuente: Los autores

Dimensiones

A partir del volumen total de cada módulo se diseñan dos tanques por unidad con las siguientes dimensiones. (**véase en tabla 27**) ilustradas en los planos 4, 5 y 6 del **anexo 1**.

Tabla 25: Dimensiones Reactor biológico

Volumen total (m3)	5168
Volumen reactor (1/2)(m3)	2584
Alto (m)	5.5
Área (m2)	939.64
Longitud (m)	50
Ancho (m)	19

Fuente: Los autores

16.6. DECANTACIÓN SECUNDARIA

Ilustración 19: Decantación secundaria



Fuente: <https://www.chia-cundinamarca.gov.co/index.php/ley-1712-transparencia/ptar-ii>

El proceso secundario se completa luego de que cumplir un tiempo de retención en el reactor biológico el licor mezcla es conducido a un decantador secundario (**Véase ilustración 18**) donde se removerán las partículas obtenidas donde una porción de lodos es recirculada al tanque de aireación y, el exceso, enviado al sistema de secado de lodos.

Para el correcto funcionamiento fue del decantador fue diseñado bajo el procedimiento planteado por el ingeniero Willian Antonio Lozano tomando como base 4 unidades para depurar el afluente proveniente de 4 reactores biológicos. El diseño tiene como datos de entrada en caudal máximo horario y el número de

decantadores (Véase tabla 28, 29)

Tabla 26: Datos de entrada

QMH (m ³ /s)	1.1574
Número de unidades	4
Caudal punta	0.29

Fuente: Los autores

4 unidades

Tabla 27: Datos de entrada por unidad

TRH (horas)	2
Qp (m ³ /s)	0.29
Cs (m/h)	2

Fuente: Los autores

Cálculo volumen cada decantador

$$V = Qp * THR = 0.29 \frac{m^3}{s} * 2h * \frac{3600s}{1h} = 2088 m^3$$

Ecuación 59: Volumen del decantador

Área superficial

$$AS = \frac{Q_P}{C_S} = \frac{0.29 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h}}{2 \frac{m}{h}} = 522$$

Ecuación 60: área superficial

Altura unidad

$$P = \frac{V}{A_s} = \frac{2088m^3}{522m^2} = 4m$$

Ecuación 61:Altura de tanque

Diámetro del tanque

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad ; \quad D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = D = \sqrt{\frac{4 * 522m^2}{\pi}} = 25.79 \approx 26$$

Ecuación 62: Diámetro del tanque

Perímetro

$$\pi * D = \pi * 26 = 80.97m$$

Ecuación 63: perímetro del tanque

Carga sobre vertedero

De acuerdo el diseño planteado por ingeniero Willian Lozzano a partir del volumen y el área superficial se dimensiona la capacidad del tanque y para detalles internos el método brinda intervalos de valores comunes obtenidos forma experimental (**Véase tabla 30**). El plano del decantador se puede encontrar en la hoja No 7 del anexo 1.

$$\frac{Q_P}{Perimetro} = \frac{0.26 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h}}{80.97m} = 12.89 \frac{m^3}{h * m}$$

Ecuación 64:Carga sobre el vertedero

Tabla 28: Resultados obtenidos decantador

∇ (m3)	2088
As (m2)	522
H (m)	4
D (m)	26
P (m)	80.97
Cs (m3/h*m)	12.89
Capacidad de tratamiento de cada unidad (m3/s)	25
Carga sobre el vertedero (m3/h*m)	40
Profundidad (vertedero de salida) (m)	3.2
Pendiente de fondo (%)	8
Relación diámetro altura	16
Diámetro de la campana deflectora (%)	20
Características de la poceta (m/h)	120

Fuente: Los autores

16.7. CLORACIÓN

Para el tratamiento terciario se planteó un sistema de desinfección por medio de una cámara de contacto (**Véase ilustración 19**) utilizando cloro gas. Este proceso de dosificación tendrá una concentración de 5ppm a caudal de diseño. Para la aplicación de este elemento se utiliza un sistema denominado Clorador con válvula digital.

Para el diseño de la cámara de contacto se tomó como tiempo de retención 10 min o su equivalente en hora 0.166 h para un caudal de 320m³/s obteniendo un volumen de 191.23 m³.

Ilustración 20: Estructura de cloración



Fuente: <https://www.chia-cundinamarca.gov.co/index.php/ley-1712-transparencia/ptar-ii>

Cálculo volumen para cloración

$$V = Qp * THR = 0.32 \frac{m^3}{s} * 0.166h * \frac{3600s}{1h} = 191.23 m^3$$

Ecuación 65: Volumen de cloración

El área superficial del tanque es:

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

Ecuación 66: área superficial del tanque

$$A_s = \frac{191.23 m^3}{1.5 m}$$

$$A_s = 127.48 m^2$$

Las dimensiones de la estructura de cloración serán:

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

Ecuación 67: Base del tanque

$$B = \sqrt{\frac{127.48 m^2}{2}}$$

$$B = 7.98 m$$

$$L = 2 * B$$

Ecuación 68: Relación según la base

$$L = 2 * 8 \text{ m}$$

$$L = 16 \text{ m}$$

La cámara de contacto tendrá forma de laberinto con 6 pasos de ancho 1.1 m y unas dimensiones externas de 8 m x16 m apreciables en el plano 8 del **anexo 1**.

16.1. MODELO PROPUESTA TÉCNICA

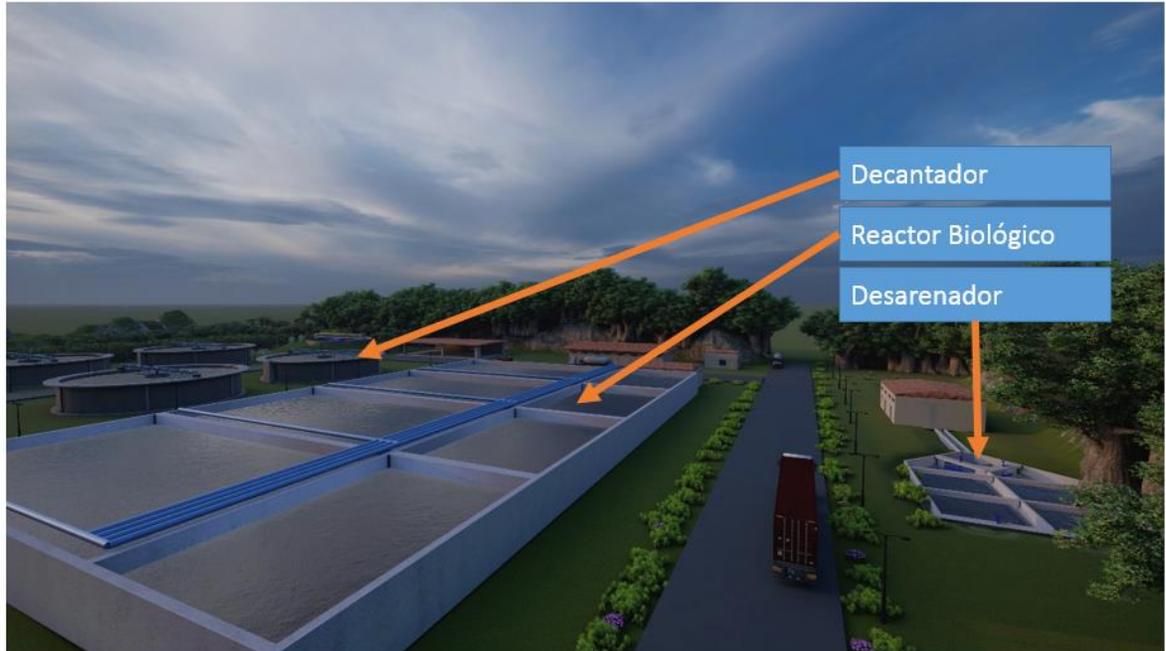
La modelación de información de construcción (BIM) es una herramienta que a cambiado la manera de visualizar los proyectos dando una perspectiva global e integrada, por esta razón a partir del diseño de la propuesta técnica para la ampliación de la PTAR CHIA I y el dimensionamiento de las estructuras se plantea un modelo en 3D (**Véase ilustración 20, 21 y 22**), en el cual se puede apreciar la distribución el volumen y el área aproximada necesaria para la construcción de planta, a partir de la distribución en planta dispuesta en el plano 1 Anexo 1.

Ilustración 21: Render vista superior propuesta técnica



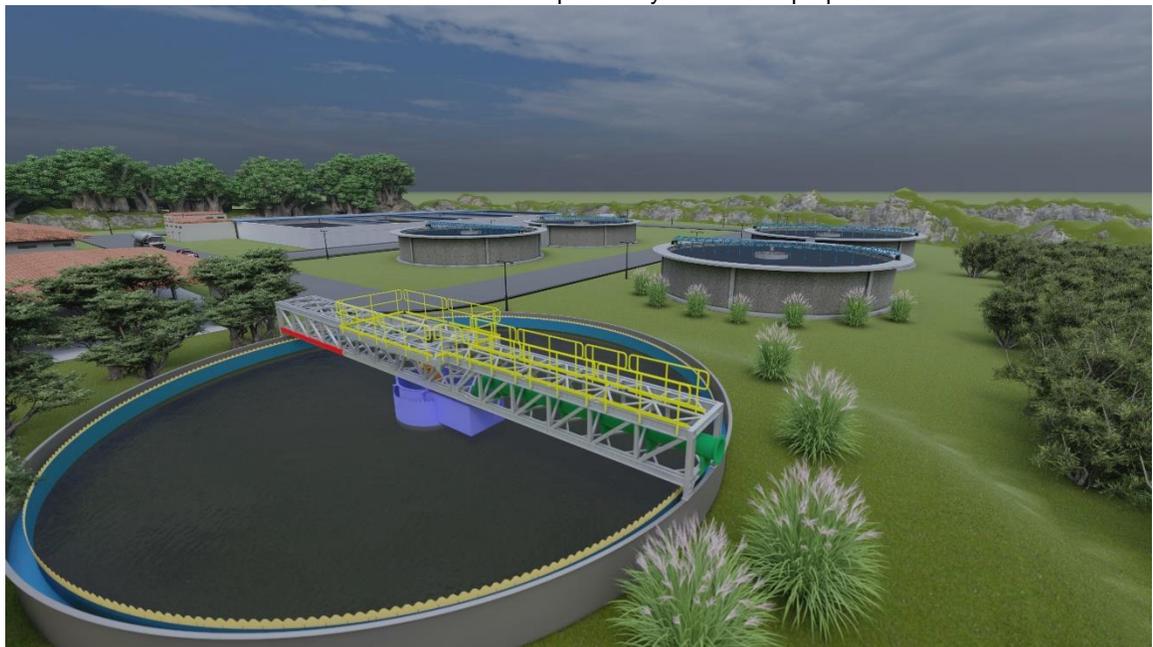
Fuente: Autores

Ilustración 22: Render vista lateral propuesta técnica



Fuente: Autores

Ilustración 23: Render tratamiento primario y secundario propuesta técnica



Fuente: Autores

17. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis integral de caudales se evidencia que en la actualidad el municipio de Chía no cumple con la demanda existente en cuanto a tratamiento de aguas residuales, puesto que los caudales calculados para el año 2020 son superiores a los 100 L/s que opera la PTAR CHIA I.

Con base en los informes de laboratorios certificados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se concluye que la planta de tratamiento aguas residuales (PTAR CHIA I) actualmente cumple por los parámetros de eficiencia de remoción de contaminantes exigidos por la resolución 0631 de 2015 sin embargo, cuando su afluente excede el caudal de diseño se obtienen parámetros superiores a los sugeridos en la norma como DBO y DQO.

Según la propuesta técnica es factible desarrollar la ampliación de la PTAR CHIA I por medio de un sistema de lodos activados esto garantizará una mejor eficiencia y remoción de contaminantes con un tiempo de retención inferior y una menor área en comparación al sistema de lagunas de estabilización.

La construcción de dos módulos de tratamiento de aguas residuales de 160 L/s cada uno mediante un sistema convencional de lodos activados en la ampliación de la PTAR CHIA I cubrirán con éxito los vertimientos proyectados para el año 2046.

18. RECOMENDACIONES

Actualmente el municipio de Chía no cumple con la demanda respecto tratamiento de aguas residuales se recomienda una correcta supervisión de la construcción PTAR CHIA II para que esta entre en operación lo más pronto posible y pueda cubrir mínimo con la demanda actual del municipio.

Se recomienda realizar los estudios de diseño para una ampliación de la planta de tratamiento PTAR CHIA I con el fin cumplir con la demanda proyectada a 2046 y aumentar el caudal de operación actual ya que la planta está superando el afluente para el que fue diseñada.

Una de las razones que aceleraron la construcción de la PTAR CHIA II fue la descontaminación de Río Bogotá por lo tanto es necesario llevar un control de los parámetros de calidad del agua del río e identificar vertimientos industriales no autorizados que amenacen la integridad del mismo, pues el tratamiento de agua residuales mediante la PTAR CHIA I y II solo garantizarán en tratamiento de aguas de la población cabecera del municipio mas no de industrias ubicadas a las afueras y sobre el margen del río.

Se recomienda difundir información a los habitantes del municipio de Chía sobre conocimientos básicos del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales a partir de lodos activados, ya que la población se opone a la construcción de nuevas plantas debido a malas experiencias con la PTAR CHIA I.

En Colombia es importante la inversión en obras y estudios enfocados en el tratamiento de aguas residuales ya que existen otros afluentes que al igual que Rio Bogotá sufren de vertimientos que no cumplen con los requisitos mínimos exigidos por la normativa vigente.

19. BIBLIOGRAFÍA

- ROMERO, J. A.** (2004). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Alberto, R. J. (2002). *Potabilización del agua*. Escuela colombiana de ingeniería.
- AQUIMATAMOROS. (23 de Agosto de 2018). <http://aquimatamoros.com/por-fin-operara-a-mas-tardar-en-octubre-la-ptar-2/>. Recuperado el 09 de Septiembre de 2019
- C, M. (2016). *Experimental Methods in Wastewater Treatment* . Obtenido de <https://www.iwapublishing.com/books/9781780404745/experimental-methods-wastewater-treatment>
- C.M, M. (2016). *Experimental methods in wastewater treatment*. Obtenido de <https://www.iwapublishing.com/books/9781780404745/experimental-methods-wastewater-treatment>
- Caballero. (2015). *Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico*. Obtenido de http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4712/Heidy_Tesis_Titulo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CAR. (2006). (POMCA) Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrografica de río Bogota . pág. 4.
- Chia, A. d. (08 de Julio de 2018). *PTAR 2 de Chía: una bomba a punto de estallar*. Recuperado el 09 de Septiembre de 2019
- Chia, A. d. (25 de Julio de 2019). <https://www.chia-cundinamarca.gov.co/bg/hy/hy/it/az/index.php/2741-en-diciembre-de-2019-entraria-en-funcionamiento-la-ptar-chia-ii-alcalde-leonardo-donoso>. Recuperado el 08 de Septiembre de 2019
- Diaz.consuelo. (2002). *Digestion anaerobia*. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/43178/2/9587011961_Parte%201.pdf
- Diaz.Consuelo. (s.f.). *Digestion anaerobia (una aproximación a la tecnología)*. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/43178/2/9587011961_Parte%201.pdf

Florida), C. N. (2017). Activated Sludge. *GWPP Gloval Watter*.

HAIMI. (s.f.). *Process automation in Wastewater Treatment Plants*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Henri_Haimi/publication/266209846_Process_automation_in_Wastewater_Treatment_Plants_the_Finnish_experience/links/542aa04c0cf277d58e874d69/Process-automation-in-Wastewater-Treatment-Plants-the-Finnish-experience.pdf

K.V. Gernaey, G. (2013). Wastewater Treatment Models. *ScienceDirect*.

LENNTECH. (2020). *History of drinking water treatment*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/processes/waste-water-mbr.htm#ixzz6ORYMdnfb>

LENNTEH. (2020). <https://www.lenntech.es/processes/waste-water-mbr.htm#ixzz6ORYMdnfb>.

LOZADA. (2019). *Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/981/1/Giraldo%20Jurado%2C%20Elkin%20Alirio-2019.pdf>

LOZADA. (2019). *Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales*.

LOZADA. (2019). *Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/981/1/Giraldo%20Jurado%2C%20Elkin%20Alirio-2019.pdf>

Mark. (2016). *Experimental Methods in Wastewater Treatment*. Obtenido de <https://www.iwapublishing.com/books/9781780404745/experimental-methods-wastewater-treatment>

municipal, D. L. (2016). Diagnóstico plan de desarrollo 2016-2019 municipio de Chia.

ROJAS. (2002). *Gestion integral de tratamiento de aguas residuales* . Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf?1533263624=&response-content-

ROJAS. (2002). https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf?1533263624=&response-content-.

ROJAS. (s.f.). *Gestion integral de tratamiento de aguas residuales* . Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf?1533263624=&response-content-

SANIT.Ambient. (08 de Aug de 2019). *Evaluation of wastewater treatment plant with anaerobic reactor receiving sludge from water treatment plant actiflo* . Obtenido de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141341522019000400709&script=sci_arttext

SCENNA. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, Universidad nacional del litoral*. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/119/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SENTENCIA 2001-90479 DE 28 DE MARZO DE 2014.

TIEMPO, E. (17 de septiembre de 2009). *El 20 por ciento de la población de Chía sufre por malos olores de planta de aguas negras*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019

TIEMPO, E. (12 de Noviembre de 2018). *Los líos de la Ptar de Chía que enredan a tres exfuncionarios*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019

URBANOS, I. D. (s.f.). Obtenido de <https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/0112111.htm>

20. ANEXO 1 PLANOS

En las fases de planificación de un proyecto de debe tener en cuenta la representación gráfica realizada por medios y estándares técnicos con el objetivo de ofrecer un esquema con las dimensiones ideales a partir de cálculos previos, para proporcionar al lector una mejor interpretación y evitar errores a la hora de transmitir la idea. Para la propuesta técnica de ampliación de PTAR CHIA I se diseñó un sistema convencional de lodos activados materializando las dimensiones obtenidas en los siguientes planos.

Plano 1: Planta general ampliación PTAR CHIA I

Plano 2: Planta y cortes canaleta parshall

Plano 3: Planta y cortes Desarenador

Plano 4: Planta Reactor biológico

Plano 5: Cortes Reactor biológico

Plano 6: Cortes Reactor biológico

Plano 7: Planta y cortes Decantador secundario

Plano 8: Planta y cortes Cámara de contacto

21. ANEXO 2 HOJAS DE CÁLCULO

La ingeniería de plantas de tratamiento de aguas residuales es la disciplina que se ocupa del estudio y aplicación de conocimientos racionales o experimentales que dan forma de modelar fenómenos físicos y químicos en términos matemáticos, esto con el fin de llegar a una solución económica y óptima. Para la propuesta de ampliación de PTAR CHIA I se realizó la aplicación de diferentes procesos tomados de la literatura y plasmados en las siguientes hojas de cálculo mediante la herramienta de Microsoft Excel.

Hoja de cálculo 1: Diagnostico de laboratorios

Hoja de cálculo 2: Proyección de población

Hoja de cálculo 3: Caudales

Hoja de cálculo 4: Canaleta parshall

Hoja de cálculo 5: Diseño de lodos activados

Hoja de cálculo 6: Decantadores