

**DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA RESIDUAL (PTAR), DEL MUNICIPIO DE MADRID - CUNDINAMARCA.**

**ANGIE CAMILA ROMERO PULIDO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ D.C  
2019**

**DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA RESIDUAL (PTAR), DEL MUNICIPIO DE MADRID - CUNDINAMARCA.**

**ANGIE CAMILA ROMERO PULIDO**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director  
EDGAR OBANDO GARNICA  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ D.C.  
2019**



## Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/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.



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Bogotá D.C. 17 de mayo de 2019**

## **DEDICATORIA**

*A mi madre DORA PULIDO MENDOZA que, con su apoyo y sacrificio logro que yo pudiera cumplir mi gran sueño de ser Ingeniera civil, a mi hermana Gabriela Romero Pulido que es mi gran motor para salir adelante y a mi padre José William Romero Sánchez el cual me brindo compañía y un granito de arena para que yo cumpliera esta gran meta.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecida con Dios y la Virgen por Bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de este camino, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.*

*Gracias a mis padres y hermana por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.*

*Agradezco a los docentes de la Universidad Católica de Colombia, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al ING. EDGAR OBANDO mi tutor del quien me ha guiado con su paciencia y su rectitud como docente, al ING. ERNESTO TORRES por su tiempo, dedicación y orientación en este trabajo de grado.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	4
3.1 JUSTIFICACIÓN .....	4
3.2 ANTECEDENTES .....	4
4. ALCANCE Y LIMITACIONES .....	9
4.1 ALCANCE .....	9
4.2 LIMITACIONES .....	9
5. DELIMITACIÓN .....	10
5.1 Espacio .....	10
5.2 Tiempo .....	10
5.3 Contenido.....	10
6. MARCO DE REFERENCIA.....	11
6.1 MARCO TEÓRICO.....	11
6.1.1 Ubicación geográfica.....	11
6.1.2 Límites .....	11
6.1.3 Estructuras generales de la PTAR.....	14
6.1.4 Lodos .....	15
6.2 MARCO CONCEPTUAL .....	19
6.3 MARCO LEGAL .....	23
7. ESTADO DEL ARTE.....	25
7.1 Nuevas tecnologías en aguas residuales.....	25
7.1.1 Filtración por membranas .....	25
7.1.2 Los biorreactores de membrana (MBR) .....	26
7.1.3 Las células de combustible microbianas.....	26
7.1.4 Los nuevos desarrollos en los procesos de tratamiento biológico .....	26
7.1.5 La nanotecnología.....	26

7.1.6 Los sistemas innovadores de monitoreo y control de aguas residuales .....	27
7.1.7 Los sistemas de tratamiento natural (sistemas de humedales) .....	27
8. METODOLOGÍA .....	28
9. ANÁLISIS DE ESTUDIOS Y DISEÑOS .....	30
10. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA PARA EL MUNICIPIO DE MADRID-CUNDINAMARCA .....	31
10.1 Periodo de diseño .....	31
10.2 Métodos para la proyección de la población .....	31
10.2.1 Método Aritmético .....	31
10.2.2 Método Geométrico.....	33
10.2.3 Método Exponencial.....	37
10.3 Dotación Neta.....	40
11. Calculo de caudales.....	42
11.1 Caudal de Infiltración.....	42
11.2 Caudal Aguas Residuales Domésticas .....	42
11.3 Caudal Medio de Diseño: .....	43
11.4 Caudal Máximo Horario:.....	43
11.5 Caudal Máximo Diario: .....	43
11.6 Caudal Máximo Mensual:.....	44
12. DATOS DE PARTIDA .....	46
12.1 PROCESO DE TRATAMIENTO.....	47
12.2 DIAGNOSTICO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA PTAR .....	48
12.2.1 Obra de llegada, pozo de gruesos. ....	48
12.2.2 Desbaste.....	50
12.2.3 Desarenador - Desengrasado.....	55
12.2.4 Reactores Biológicos .....	62
12.2.5 Decantación secundaria.....	75
12.2.6 Bypass de caudal del tratamiento biológico .....	80
12.2.7 Medida de Caudal Pretratado. ....	80
12.2.8 Espesador de fangos. ....	81
12.2.9 Desinfección mediante cloro gas. ....	81
12.2.10 Deshidratación de fangos .....	81
12.2.11 Edificio administrativo. ....	81

13. PRESUPUESTO .....	83
13.1 Presupuesto total .....	83
14. CONCLUSIONES .....	84
15. RECOMENDACIONES .....	86
16. BIBLIOGRAFÍA .....	87

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Plano de ubicación de lagunas y Planta de Tratamiento de Agua Residual.....	5
Ilustración 2. Esquema del sistema de tratamiento de aguas servidas.....	6
Ilustración 3. Plano del sistema de Tratamiento de aguas servidas. ....	7
Ilustración 4. Entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residual Madrid 1 .....	7
Ilustración 5. Estructura preliminar.....	8
Ilustración 6. Canaleta Parshall .....	8
Ilustración 7. Ubicación Geográfica de Madrid Cundinamarca en Colombia. ....	11
Ilustración 8. Mapa de la división Política de Madrid-Cundinamarca .....	12
Ilustración 9. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.....	12
Ilustración 10. Planta de Tratamiento de Agua Residual. Plano General con sus estructuras. ....	14
Ilustración 11. Esquema general de la metodología utilizada .....	29
Ilustración 12. Grafica promedio de la población Madrid - Cundinamarca .....	40
Ilustración 13. Pozo de gruesos.....	48
Ilustración 14. Hueco con reja de gruesos de 100 mm luz.....	49
Ilustración 15. Pozo de gruesos y cuchara bivalva .....	49
Ilustración 16. Canales de desbaste .....	50
Ilustración 17. Canales de desbaste .....	50
Ilustración 18. Vista planta Canal Desbaste.....	51
Ilustración 19. Vista perfil Canal Desbaste.....	52
Ilustración 20. Desarenador – Desengrasado.....	55
Ilustración 21. Desarenador - Desengrasado.....	56
Ilustración 22. Desarenador-Desengrasado y Canaleta Parshall.....	56
Ilustración 23. Vista en planta Desarenador - Desengrasado .....	57
Ilustración 24. Vista perfil longitudinal Desarenador - Desengrasado .....	58
Ilustración 25. Tres reactores Biológicos .....	63
Ilustración 26. Reactores Biológicos .....	63
Ilustración 27. Vista en planta un Reactor Biológico .....	64
Ilustración 28. Vista perfil longitudinal Reactor Biológico .....	65
Ilustración 29. Vista perfil transversal Reactor Biológico .....	65
Ilustración 30. Reactor con sus difusores .....	73
Ilustración 31. Principio de funcionamiento del sistema de aireación .....	74
Ilustración 32. Decantadores Secundarios.....	75
Ilustración 33. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid-Cundinamarca .....	75
Ilustración 34. Vista en planta Decantador Secundario .....	76
Ilustración 35. Vista perfil longitudinal Decantador Secundario .....	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los sólidos y lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales.....	16
Tabla 2. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020 DANE.....	32
Tabla 3. Resultados proyección población Método aritmético .....	33
Tabla 4. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020.....	34
Tabla 5. Tasa de crecimiento.....	35
Tabla 6. Resultados proyección población Método geométrico .....	36
Tabla 7. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020.....	37
Tabla 8. Tasa de crecimiento.....	38
Tabla 9. Promedio de la población Madrid-Cundinamarca .....	39
Tabla 10. Dotación Neta Máxima .....	41
Tabla 11. Caudales.....	45
Tabla 12. Resumen de laboratorios empleados para el diseño de la PTAR-Madrid .....	46
Tabla 13. Resumen de valores empleados para el diseño de la PTAR-Madrid.....	46
Tabla 14. Proceso unitario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	48
Tabla 15. Criterios de diseño de las rejillas de desbaste .....	53
Tabla 16. Resumen de datos para el diseño de los canales de desbaste .....	53
Tabla 17. Resumen de resultados para el diseño de los canales de desbaste.....	55
Tabla 18. Criterios de diseño para desarenadores - desengrasadores .....	59
Tabla 19. Resumen de datos para el diseño de desarenador-desengrasado.....	59
Tabla 20. Criterios de diseño para los reactores de lodos activados .....	66
Tabla 21. Resumen de datos para el diseño de los reactores de lodos activados.....	66
Tabla 22. Resumen de resultados para el diseño de los reactores de lodos activados .....	73
Tabla 23. Criterios de diseño para los decantadores secundarios.....	78
Tabla 24. Resumen de datos para el diseño de los decantadores secundarios .....	78
Tabla 25. Resumen de resultados para el diseño de los decantadores secundarios activados.....	80

## INTRODUCCIÓN

Madrid Cuenta con aproximadamente 121 km<sup>2</sup> de área urbana, es el mayor municipio floricultor de Colombia, con unas 1000 ha y con mayor producción de cultivos transitorios como de arveja, lechuga, maíz, papa, repollo, zanahoria y fresa, por lo que es de gran importancia para este municipio contar con un buen sistema de agua residual como herramienta para el reciclaje de agua y para el cuidado del medio ambiente, esta planta mejorará las condiciones de las aguas residuales domésticas y combinadas con lluvia; con el fin de eliminar los contaminantes físicos y microbiológicos presentes en el agua que se usa y desecha la población.

En cumplimiento del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos –PSMV la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAAM E.S.P, mediante el contrato de Obra Pública N. ° 044 de 2015, construyó la Planta de tratamiento de aguas residuales Madrid I en el municipio de Madrid - Cundinamarca, el cual contempla la construcción y puesta en marcha de todas las instalaciones para el manejo de las aguas residuales.

El presente proyecto tiene como propósito realizar la comprobación y el diagnóstico de la puesta en funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual, ubicada en el casco urbano del municipio de Madrid Cundinamarca cuyo proceso constructivo finalizó el 30 de agosto de 2018. Se continuo con el plan de precomisionamiento el cual comprendió la certificación de las pruebas y chequeos de los equipos establecidos antes de energizar el proyecto; luego siguió el plan de comisionamiento donde se inició la aceptación de entrega por el modo de precomisionamiento y en el que se comprendió la realización de pruebas de funcionamiento general, bajo las condiciones simuladas, pruebas de pre-arranque y las pruebas operacionales con agua cruda y potable, el cual entraría a la fase final de la puesta en marcha del proyecto en enero de este año (2019), según lo que planeó la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015, pero a la fecha no ha entrado en funcionamiento, por problemas económicos con la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAAM E.S.P.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El agua es el elemento más importante para la vida y esencial para todo ser vivo, pero a su vez, si no se consideran medidas de mitigación y tratamiento se convierte en un contaminante y por esto su cuidado es responsabilidad de todos los seres humanos. Un municipio produce grandes volúmenes de aguas residuales, lo cual trae como consecuencia no solo la contaminación del agua sino la afectación de la población generando diferentes tipos de enfermedades. Por esta razón se han adelantado diseños y construcciones de PTAR en diferentes municipios que mejoran la calidad de los efluentes que permitirán obtener una mejor calidad de las aguas de los ríos.

El municipio de Madrid hasta la fecha no cuenta con un tratamiento de agua residual en operación por el sistema de lodos activados de baja carga<sup>1</sup>, se ha construido una planta, pero no se ha puesto en funcionamiento y se espera que en el corto tiempo se ponga en operación.

Ante la necesidad de mejorar el proceso de tratamiento empleado, se llegó a la necesidad de la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Madrid I, teniendo en cuenta la proyección de la población y el aumento de los niveles de contaminación.

La nueva planta fue diseñada para un caudal de 164 L/s; está prevista su operación a partir de este año (2019), esto motivó a que se adelantara un estudio acerca comportamiento en la operación de la planta lo que origina el tema principal del presente proyecto.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Revisar cada uno de los documentos suministrados por la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015, donde está contemplado el proceso de construcción de la planta de tratamiento de agua residual PTAR, para verificar su diseño, para verificar si cumple con la tecnología moderna y para verificar si cumple con las necesidades que presenta el municipio de Madrid en el tema de las aguas servidas.

¿La planta de tratamiento de agua residual PTAR Madrid cumplirá de acuerdo con los diseños presentados las expectativas de la región para el desarrollo futuro para el manejo de las aguas residuales?

---

<sup>1</sup> AGUAMARKET. Aireación extendida [En línea]. Bogotá: [citado 26 Abril, 2017]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=45>

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar los procedimientos técnicos de operación para la futura Planta de Tratamiento de Agua Residual Madrid, Cundinamarca.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Recolectar información necesaria para el estudio de la operación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR.
- ❖ Revisar el contrato y los diseños técnicos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR.
- ❖ Verificar el comportamiento hidráulico de las estructuras de la Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR.
- ❖ Identificar la cantidad de lodo que producirá la planta y sus usos.
- ❖ Adelantar visitas periódicas a la planta de tratamiento de agua residual PTAR.
- ❖ Determinar el tipo de difusores para la activación de lodos activados.
- ❖ Comprobar el presupuesto de costos proyectados y definitivos de la PTAR.

### **3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

#### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

De acuerdo a la ley de desarrollo territorial 388 de 1997 del 18 de julio de 1997, artículo 4 se ordena a los Municipios y Distritos adaptarse a los Planes de Ordenamiento del Territorio contemplados en la Ley Orgánica de Planes de Desarrollo según la clasificación de Municipios indicada por la ley, para garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad y sostenibilidad en lo relacionado con la salud, el medio ambiente y el bienestar social para un mejoramiento en calidad y eficiencia. También se debe tener en cuenta los cambios climáticos, la contaminación, como consecuencia del agotamiento del recurso y los factores contaminantes en el agua.<sup>2</sup>

Por lo anterior, se hace necesario mejorar las condiciones de la población y aprovechar el recurso de la mejor manera, minimizando costos e impactos en el medio ambiente, por esta razón se da la construcción de la nueva planta de Madrid que va a tratar el 85% de agua residual que drena del río Subachoque que es la fuente de suministro de agua en el municipio para sus diversas actividades, este recorre el municipio de norte a Sur, pasa por el centro urbano y recibe aportes en el área del municipio las quebradas El Corzo y de la chucua el Riachuelo, la cual a su vez sirve de desagüe a la laguna de la Luisiana y a la ciénaga de Colón y pasa finalmente al Río Bogotá.

#### **3.2 ANTECEDENTES**

La zona donde se encuentra situada la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Madrid I Cundinamarca, es un terreno de pendiente suave, en el que existía un sistema de tratamiento de las aguas servidas utilizando la tecnología de lagunas de oxidación (MADRID, 2018).

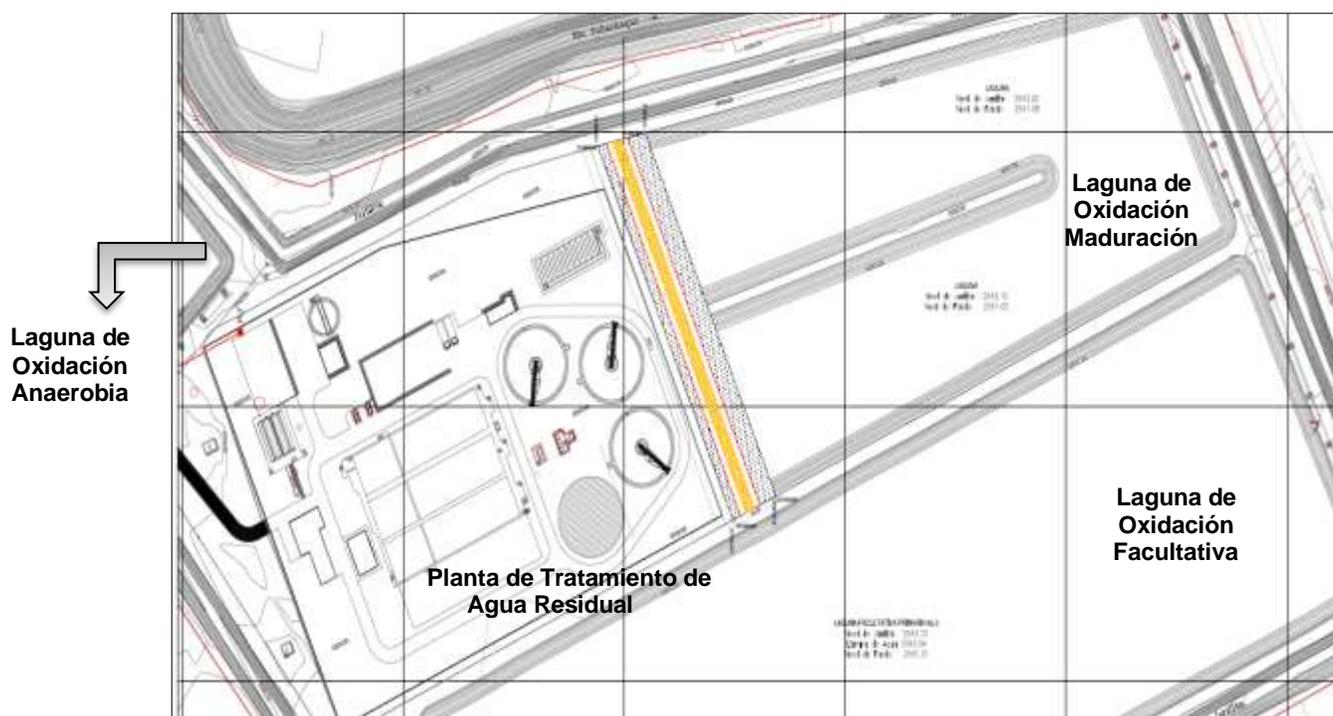
La planta como puede verse en la ilustración 1, ocupa aproximadamente un cuarto del área del terreno asignado para todo el proyecto, ya que fue construida dentro del lote donde se encuentra las lagunas de oxidación que están fuera de operación.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> LEY 388 DE 1997 (Julio 18), Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones.

<sup>3</sup> CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015. Memoria proyecto Madrid

Ilustración 1. Plano de ubicación de lagunas y Planta de Tratamiento de Agua



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015.

Este proyecto se realizó con el propósito de hacer seguimiento a los diferentes estudios y diseños que se adelantaron durante el desarrollo del proyecto PTAR Madrid 1. Se revisaron y analizaron los planos de las estructuras que componen cada uno de los procesos y las condiciones en las que va a operar la planta una vez puesta en funcionamiento, se verificó que la planta en condiciones normales de operación cumplirá con lo establecido en las normas que rigen para este tipo de plantas.

Este proyecto contribuirá a la protección del recurso hídrico frente al alto crecimiento urbanístico que ha tenido la Sabana (el 90 por ciento de la contaminación del río Bogotá, según un estudio de la CAR, es generada por aguas residuales y el otro 10% está asociado con las curtiembres).<sup>4</sup>

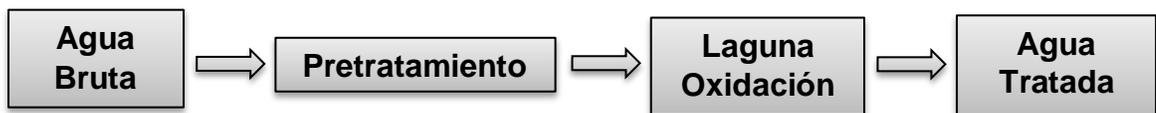
El Documento CONPES 3320 del 6 de diciembre de 2004, “Estrategia para el manejo ambiental del Río Bogotá”, identificó como principal causa de

<sup>4</sup> 5 municipios de Cundinamarca tendrán plantas de tratamiento este año. (31 de marzo 2014). El Tiempo, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13760527>

contaminación, los vertidos de aguas residuales municipales sin tratar provenientes de los asentamientos humanos existentes a lo largo de la cuenca. Por esta razón el documento estableció una estrategia para el Manejo Ambiental del río Bogotá y sus afluentes, con el fin de complementar la infraestructura de saneamiento básico, establecer estándares de calidad del agua a lo largo de la cuenca, y permitir la reutilización, principalmente en riego, de las aguas residuales tratadas, diseñando mecanismos para el financiamiento de las obras, y conformando esquemas regionales para la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado, especialmente en lo relacionado con el tratamiento de las aguas residuales (2015, 2015).

El Tratamiento de Agua Residual en el municipio de Madrid Cundinamarca, se inició bajo el diseño de un tratamiento de aguas servidas con una estructura de filtrado de material grueso por rejillas, un desarenador y una decantación que utiliza tres lagunas de oxidación, donde su mecanismo era retener el material sólido grueso que podía afectar el funcionamiento del desarenador y la conexión de las tres lagunas, para establecer un tratamiento de las aguas servidas de origen domiciliar<sup>5</sup>, como se indica en el siguiente esquema e ilustración 2.

Ilustración 2. Esquema del sistema de tratamiento de aguas

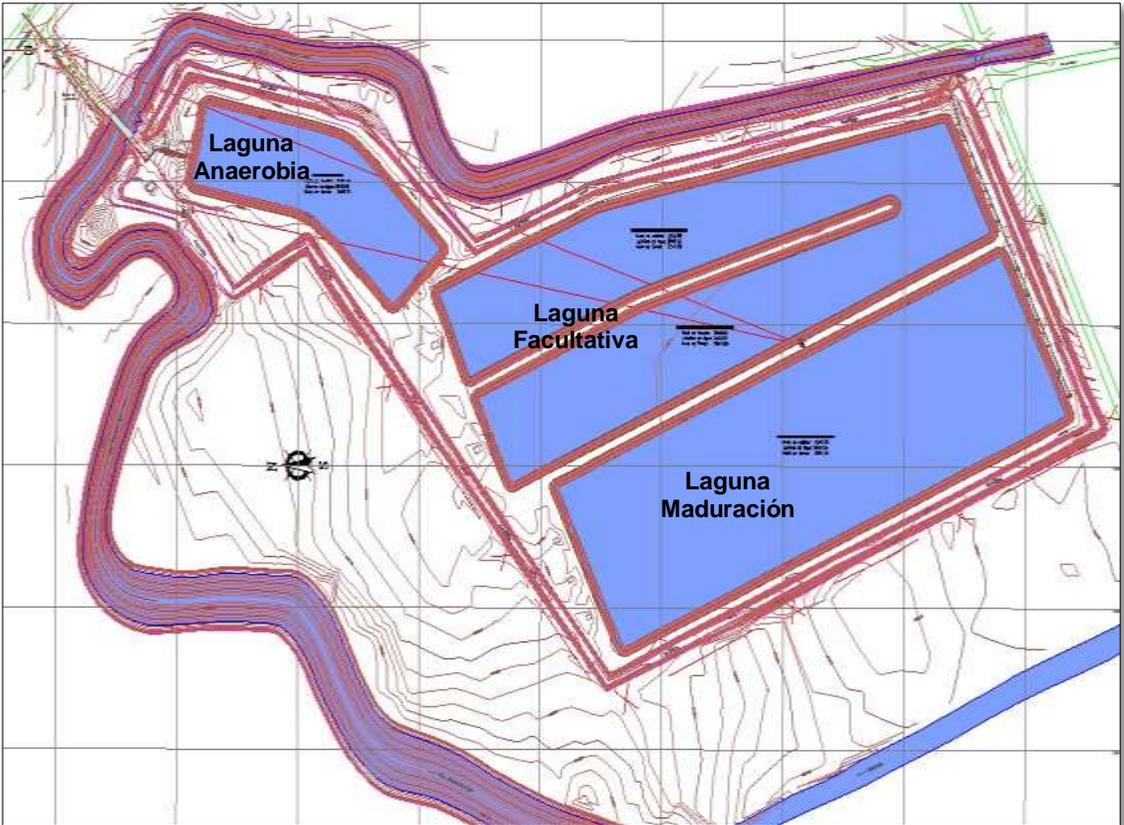


Fuente: Autor

---

<sup>5</sup> CONDORCHEM ENVITECH. Filtración mediante membranas para el tratamiento aguas residuales. Bogotá: [citado 26 Abril, 2017]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/membranas-tratamiento-aguas-residuales/>

Ilustración 3. Plano del sistema de Tratamiento de aguas servidas.



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015.

Ilustración 4. Entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas



Fuente: Autor

Ilustración 5. Estructura preliminar.



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2

Ilustración 6. Canaleta Parshall



Fuente: Autor

## **4. ALCANCE Y LIMITACIONES**

### **4.1 ALCANCE**

El alcance de la investigación será la presentación de un informe final que cubrirá diferentes aspectos de revisión del funcionamiento de estructuras, equipos y en general el proceso de tratamiento que se sigue en la planta de tratamiento de agua residual de acuerdo a su diseño básico referencial.

Este alcance se obtiene a partir de los resultados obtenidos en campo como las visitas técnicas, la revisión del estado actual de la infraestructura y elementos que conforman la Planta de Tratamiento de Agua Residual del municipio de Madrid, Cundinamarca.

### **4.2 LIMITACIONES**

Las limitaciones para desarrollar la investigación se pueden tener en la disponibilidad de tiempo para realizar las visitas de inspección y evaluación, así como la adquisición de información sobre el diseño y construcción de este.

## **5. DELIMITACIÓN**

### **5.1 ESPACIO**

El proyecto se realizará en la Planta de Tratamiento de Agua Residual en el Municipio de Madrid-Cundinamarca.

### **5.2 TIEMPO**

El tiempo estipulado para el desarrollo del proyecto es de seis meses el cual es contemplado por la universidad.

### **5.3 CONTENIDO**

El proyecto contiene el estudio de la operación de la planta de tratamiento de agua residual Madrid I.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1 MARCO TEÓRICO

#### 6.1.1 Ubicación geográfica

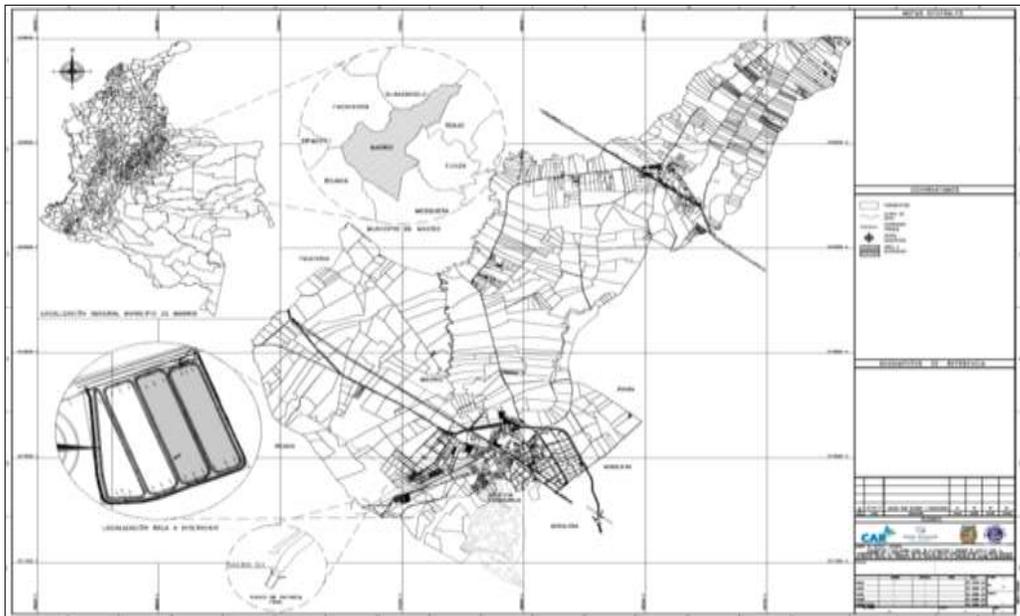
El Municipio de Madrid se encuentra ubicado en la Provincia de la Sabana Occidente, a 17 km de Bogotá. Geográficamente se ubica en 04° 43' 58" latitud norte y 74° 16' 02" longitud oeste.

#### 6.1.2 Límites

El municipio de Madrid Cundinamarca limita por el sur con el municipio de Bojacá, al Norte con el municipio de Subachoque, El Rosal y Tenjo, al Oriente con el municipio de Funza y Mosquera y al Occidente con el municipio de Facatativá.

Su extensión total es de 120,5 Km<sup>2</sup>, extensión área urbana de 7.5 Km<sup>2</sup>, extensión área rural 113 Km<sup>2</sup>, La altitud en la cabecera municipal es de 2.554 msnm, su temperatura es de 14 °C.<sup>6</sup>

Ilustración 7. Ubicación Geográfica de Madrid Cundinamarca en Colombia.



Fuente: Alcaldía Local Madrid Cundinamarca.

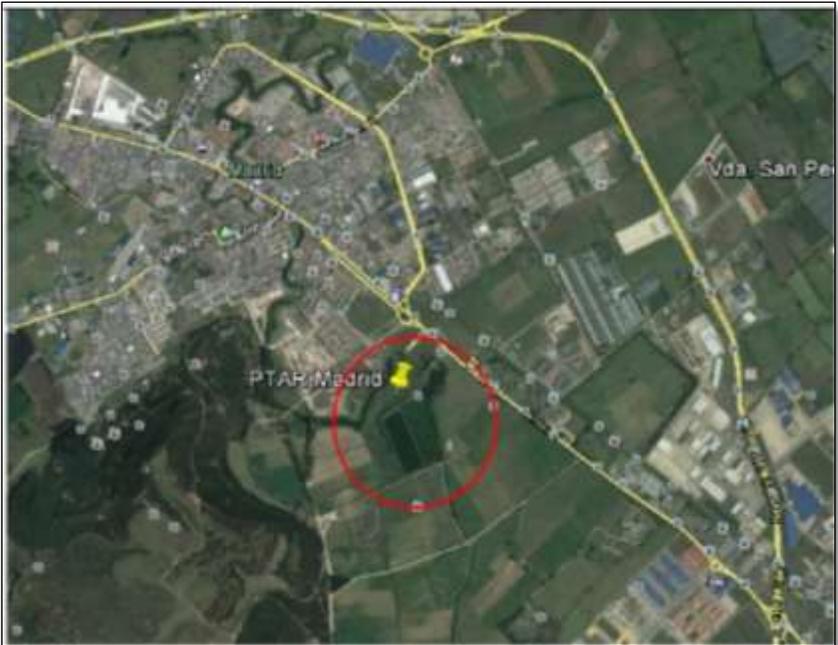
<sup>6</sup> ALCALDÍA LOCAL DE MADRID

Ilustración 8. Mapa de la división Política de Madrid-Cundinamarca



Fuente: <http://viajaxbogota.blogspot.com.co/2012/03/>

Ilustración 9. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.



Fuente: Autor. Google Maps

El sitio del proyecto donde se construyó la PTAR está ubicado a unos 2 Km del núcleo urbano. La parcela limita con el arroyo Chapitel por el oeste y con una cañada al norte.<sup>7</sup>

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes residuales consiste en tratar los contaminantes y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Por lo tanto, objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir agua excedente reutilizable en el ambiente y producto sólido o fango denominado biosólido o lodo, el cual será analizado para su posible reutilización o disposición de acuerdo con su caracterización.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos de mayor tamaño de la corriente de aguas domésticas empleando un sistema de rejillas, posteriormente se conducen a un desarenador donde se realiza la separación de los sólidos más pequeños como las arena, seguido de una sedimentación primaria que separa los sólidos suspendidos existentes en el agua residual.

El proceso continúa con la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural u otro ambiente.

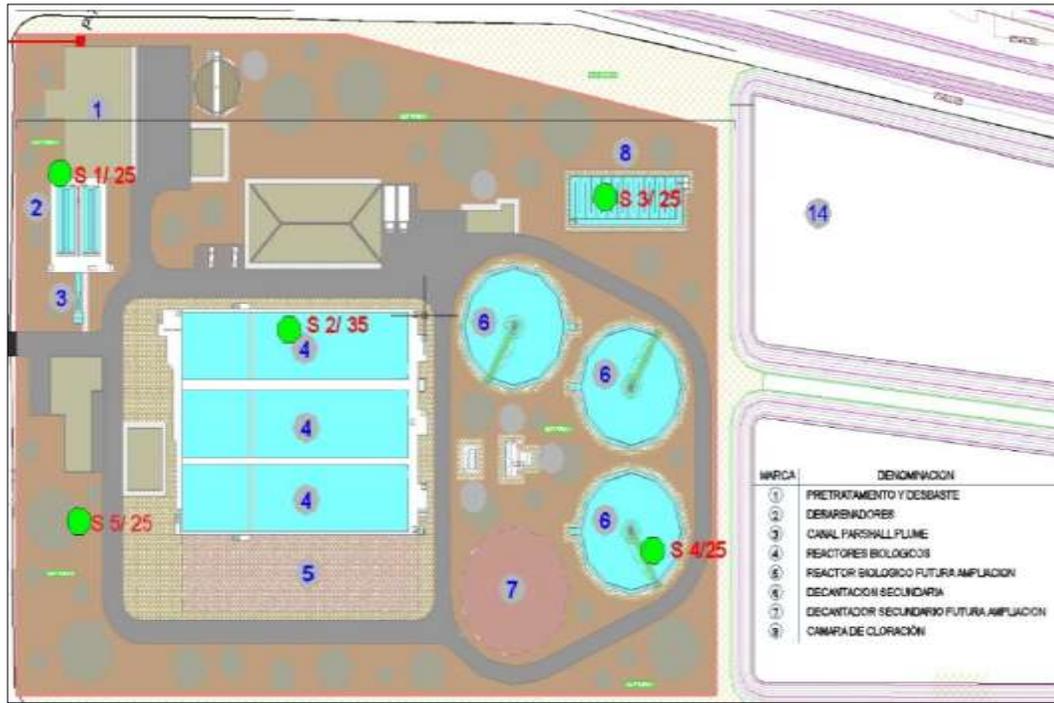
A continuación, en el plano que se muestra en la Ilustración 10 se puede observar las estructuras que componen una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales señalando cada proceso y se describen la importancia de cada una.

---

<sup>7</sup> CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015. Memoria proyecto Madrid

### 6.1.3 Estructuras generales de la PTAR

Ilustración 10. Planta de Tratamiento de Agua Residual. Plano General con sus estructuras.



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

- ❖ **Pretratamiento y desbaste.** Consiste en la separación de grandes sólidos y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua, que podrían disminuir la actividad del tratamiento. Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja. De esta forma, el desbaste se clasifica de acuerdo a la separación entre los barrotes de la reja. Estas rejillas 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. También se utilizan junto a las de limpieza automática cuando estas últimas están fuera de servicio.
- ❖ **Desarenadores.** El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas.

- ❖ **Canaleta parshall.** La canaleta parshall es una estructura a flujo crítico utilizada para la medición de caudales, es un método eficiente para el registro continuo del caudal a tratar, es uno de los sistemas de medición que mayor preferencia en canales abiertos por los cuales se movilizan grandes volúmenes de líquido.
- ❖ **Reactores biológicos.** Son estructuras en las que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. El proceso combina en un mismo tanque reacción, aeración y clarificación.

Se debe tener buen control en su operación, presenta una buena flexibilidad ante cambios del caudal y concentración de las aguas residuales, registra mejores resultados en el tratamiento de compuestos refractarios a los sistemas biológicos convencionales.

- ❖ **Decantador.** La decantación es un método físico para separar componentes de mayor densidad que el agua. El mecanismo de acción de la separación es la fuerza de la gravedad. Así, los componentes de mayor densidad se sitúan en el fondo del decantador, quedando el agua clarificada en la superficie.
- ❖ **Decantador futura ampliación.**
- ❖ **Cámara de cloración.** Al pasar las aguas residuales en su interior liberan una cantidad de cloro activo, por un periodo determinado, el cloro cumple su función bactericida, eliminando toda clase de bacterias.

#### 6.1.4 Lodos

Los lodos se producen por el proceso de tratamiento de aguas, el lodo primario procede de la sedimentación de aguas residuales, el lodo secundario procede del tratamiento biológico de aguas residuales, los lodos digeridos que proceden de los dos anteriores, separados o mezclados, lodos que proceden de plantas de ablandamiento y lodos que proceden del desarenadores y las rejillas.

- ❖ Como principal característica de los lodos activados, todos los crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1-6%), por ellos, la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo.
- ❖ Los lodos provenientes de aguas residuales están compuestos en especial por la materia orgánica removida del agua residuales, la cual se descompone y causa los mismo efectos indeseables del agua residuales cruda.
- ❖ Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen. De su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos.

- ❖ El volumen de lodo que se produce en un tanque de sedimentación debe conocerse o estimarse para cuantificar los diferentes componentes del sistema de tratamiento y disposición de lodos.

Tabla 1. Características de los sólidos y lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales.

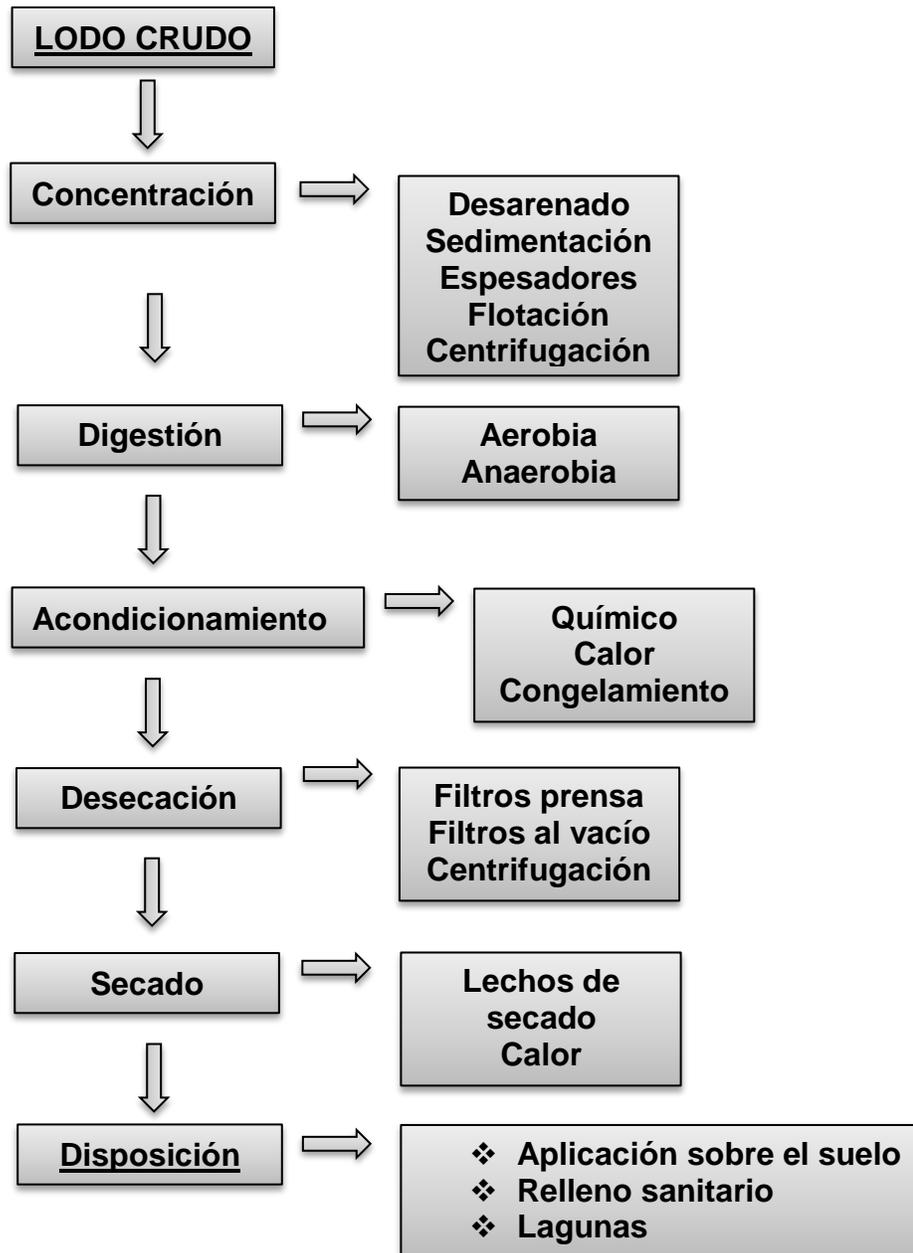
Sólidos o lodo	Descripción
Sólidos o gruesos del cribado	Incluye material orgánico e inorgánico grueso retenido sobre la rejilla.
Arena y material del desarenador	Incluye arena y sólidos pesados de sedimentación; pueden contener materia orgánica, especialmente grasas.
Espuma y grasas	Incluye el material flotable desnatado, de la superficie de los tanques de sedimentación; pueden contener grasas y aceites.
Lodo primario	Lodo gris pegajoso, de olor ofensivo, proveniente de los sedimentadores primarios.
Lodo químico	Lodo químicamente con sales metálicas, de color oscuro, a veces rojo superficialmente cuando hay mucho hierro. Su olor no es tan desagradable como el lodo primario.
Lodo activado	De color carmelita y floculento. Si es oscuro puede ser séptico. Si el color es claro puede estar subaerado y sedimentar lentamente. En buenas condiciones no tiene olor ofensivo y huele a tierra. Se vuelve séptico muy rápido.
Lodo de filtros percoladores	Lodo carmelita, relativamente onofensivo cuando está fresco. Generalmente de descomposición más lenta que otros lodos crudos.
Lodo digerido aerobiamente	De color carmelita a carmelita oscuro y de apariencia floculenta. Olor onofensivo a moho.
Lodo digerido anaerobiamente	De color carmelita oscuro a negro, con contenido alto de gas. Bien digerido no es ofensivo, huele a caucho quemado.
Lodo de tanques sépticos	Lodo negro, ofensivo si no está bien digerido, de mal olor por la presencia de gases como el ácido sulfhídrico.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> (ROJAS, 1999)

Como métodos de tratamiento y disposición eficiente de los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales se requiere conocer las características de los sólidos y del lodo por procesar, así como la aptitud de los diferentes sistemas de procesamiento y la facilidad de acceso a las diferentes opciones de disposición final.

Figure 1. Procesos principales de tratamiento y disposición de lodos



Fuente: Tratamiento de aguas residuales, teórica y principios de diseño.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> (ROJAS, 1999)

El espesamiento de lodos de aguas residuales es generalmente la primera etapa del tratamiento de lodos; desarrollado en 1950. Se utiliza espesamiento por gravedad o por flotación con aire disuelto para mejorar la operación de los digestores, rebajar el costo de la digestión y reducir el volumen del lodo, normalmente para reducir el costo de los tratamientos o procesos aplicados después del espesamiento.

- ❖ **Espesamiento por gravedad.** La sedimentación es un método común para separar sólidos de liquidación en tratamiento de aguas. Cuando la separación es para producir un efluente libre de sólidos se llama clarificación y cuando es para producir un lodo concentrado se denomina espesamiento.

Los espesadores por gravedad son sedimentadores dotados con barredora de lodos para producir un lodo más concentrado que el lodo aplicado. El espesador se diseña con base en una concentración específica esperada del lodo espesado, una carga másica superficial determinada y una carga de rebose de 16 a 32 m/d para lodos primarios y de 2 a 8 m/d para lodos secundarios. Sin embargo, la carga hidráulica no debe ser excesivamente baja porque se pueden tener condiciones sépticas, olores y lodo flotante.

El lodo del tratamiento con lodos activados es individualmente difícil de espesar, por lo cual se prefiere mezclarlo con lodo primario. El lodo primario y el lodo de cal sedimentan más fácilmente y permiten obtener una concentración alta de sólidos son acondicionamiento químico. Cuando se haga espesamiento por gravedad de lodos activados solos, se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Si la temperatura del agua residual es mayor de 20°C, solo se debe usar espesamiento por gravedad cuando la edad de los lodos es mayor de 20 días.
  - Se debe mantener el lodo en el espesador menos de 18 horas para reducir efectos indeseables de la actividad biológica.
  - Se debe seleccionar un tanque de diámetro menor a 12m.
- ❖ **Espesamiento por flotación.** Este método, es conocido en Estados Unidos desde 1930, se aplica a los lodos gelatinosos como los lodos activados y a lodos livianos de filtros percoladores. Para los lodos primarios y lodos combinados se prefiere espesamiento por gravedad. El espesamiento por flotación con aire disuelto es una separación de sólidos del líquido mediante la introducción de burbujas finas de aire dentro de la fase líquida. Las burbujas se adhieren a los sólidos y el empuje combinado del gas y el sólido hacen que suban a la superficie del líquido donde son removidos.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> (ROJAS, 1999)

## 6.2 MARCO CONCEPTUAL

- ❖ **GyA.** Grasas y Aceites. Medido en partes por millón (ppm) o Miligramos por litro (mg/l).
- ❖ **SST.** Solidos Suspendidos Totales. Medición de sólidos que se suspenden entre las moléculas de agua. Medido en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l).
- ❖ **DBO.** Demanda Biológica de Oxígeno. Es una prueba estándar que indica la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación de la materia orgánica en una muestra de aguas residuales bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo. La velocidad a la que las bacterias utilizan el oxígeno disuelto en agua o aguas residuales, mientras descomponen la materia orgánica en el líquido bajo condiciones aeróbicas.
- ❖ **DQO.** Demanda química de oxígeno. Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia organica oxidable químicamente mediante un agente dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura.
- ❖ **Minerales y Metales Pesados.** TKN (nitratos, nitrógeno), fósforo, zinc, cadmio, cobre, níquel, cromo, plata, plomo, etc. varían de estado a estado, por lo general se mide en mg/l.
- ❖ **SDT.** Solidos Disueltos Totales. Sólidos de una clase tal que su composición molecular se ha convertido en parte de la molécula de H<sub>2</sub>O, como las sales.<sup>11</sup>
- ❖ **Pretratamientos remoción de materia flotante.** Generalmente es necesario realizar uno o varios pretratamientos al agua cruda con el objetivo de dejarla en condiciones óptimas para el tratamiento subsiguiente.<sup>12</sup>
- ❖ **Remoción del material flotante.** Puede emplearse cuando se requiere retirar del agua el material sobrenadante, para que posteriormente pueda ser tratada por los procesos convencionales. Para estos procesos preparatorios pueden utilizarse: rejillas, mallas, y trampas de grasa y aceite.
- ❖ **Remoción del material suspendido y sedimentable.** Puede usarse cuando exista un exceso de material suspendido y sedimentable en el agua, en especial arena, arcillas y algas que pueden interferir en los subsiguientes

---

<sup>11</sup> Como Hacer Una Planta de Tratamiento de Aguas (PTAR) Eficiente. Clean Water Technology. [http://www.alapre.org/Downloads/Congresos/Quinto\\_Congreso/CWT\\_Como\\_hacer\\_una\\_planta\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_PTAR\\_eficiente.pdf](http://www.alapre.org/Downloads/Congresos/Quinto_Congreso/CWT_Como_hacer_una_planta_de_tratamiento_de_aguas_PTAR_eficiente.pdf)

<sup>12</sup> Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C. Sistemas de Potabilización / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010.

procesos de tratamiento. Entre los procesos preliminares que pueden emplearse, se tienen: desarenadores, presedimentadores con o sin aplicación de químicos, prefiltros y microtamices.

- ❖ **Procesos de oxidación.** Esta oxidación puede ser por aireación u oxidación química. Para la aireación pueden emplearse: las bandejas de coque y la aireación forzada; Esta última a su vez se divide en inyección de aire comprimido y aeración mecánica.

La aireación por ventilación forzada, en lo posible no debe implementarse en el nivel de complejidad del sistema bajo. En caso de emplear un producto químico distinto de los aquí mencionados para la oxidación química se debe solicitar autorización para su uso al Ministerio de la Protección Social – Dirección General de Salud Pública; además, debe probar su eficiencia, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones o trabajos de laboratorio y/o planta piloto que demuestren su efectividad. Los pretratamientos normalmente utilizados son las rejillas y mallas y las trampas de grasa y aceite.

- ❖ **Remoción de olor y sabor.** El problema del olor y el sabor en el agua es principalmente de aceptabilidad por los usuarios. En el agua cruda superficial es atribuido principalmente a compuestos orgánicos, ya sean de origen natural o sintético o también a compuestos inorgánicos tales como iones metálicos en variadas concentraciones. En el agua subterránea se debe principalmente a la presencia de hierro y manganeso. Cuando el olor y el sabor no alcanzan a ser removidos en los procesos de tratamiento (coagulación, floculación, sedimentación y filtración), deben ser tratados previamente mediante procesos a base de oxidación o adsorción.

El agua debe tratarse por medio del proceso más adecuado de acuerdo a las características del afluente, el nivel de complejidad del sistema y los costos que implica para alcanzar los niveles de calidad exigidos.

- ❖ **Coagulación.** Los procesos que se llevan a cabo en esta etapa del tratamiento del agua potable son la dosificación y la mezcla rápida. Una vez adicionados los coagulantes y auxiliares de la coagulación deben dispersarse rápida y homogéneamente en el cuerpo de agua, para lo cual deben emplearse las unidades de mezcla rápida.

Estos equipos pueden ser hidráulicos o mecánicos. Entre las unidades hidráulicas de mezcla rápida que pueden usarse se encuentran el resalto hidráulico, los vertederos, los mezcladores estáticos y los difusores; entre las unidades mecánicas de mezcla rápida que pueden emplearse se encuentran los mezcladores mecánicos.

❖ **Floculadores hidráulicos.** Los floculadores hidráulicos utilizan el cambio de dirección de flujo del agua, inducido por diferentes mecanismos, para producir la turbulencia necesaria para promover la formación del floc y derivan su energía de la carga de velocidad que el líquido adquiere en su tránsito por un conducto. Entre los floculadores hidráulicos que pueden ser implementados están los de:

- Flujo horizontal.
- Flujo vertical.
- El floculador Alabama.
- Flujo helicoidal.
- El floculador de lechos porosos.

❖ **Floculadores mecánicos.** Los floculadores mecánicos son aquellos que requieren de un equipo electromecánico para mover un agitador de paletas o álabes. En el nivel de complejidad del sistema Bajo, se deben evitar en lo posible este tipo de floculadores. Clasificados como floculadores mecánicos están:

Giratorios, en donde la agitación se produce por el giro de paletas alrededor de un eje horizontal o vertical.

De turbina, en donde la agitación se produce mediante grupos de álabes o turbinas dispuestos a lo largo de un eje horizontal que se instalan en tanques alargados y pueden comunicar un movimiento de rotación a la masa de agua a diferentes velocidades.

Reciprocantes, en donde la agitación se produce por desplazamiento vertical hacia arriba y abajo de unas parrillas dentro del agua.

❖ **Floculadores hidromecánicos.** Los floculadores hidromecánicos utilizan la energía hidráulica a la entrada del floculador para mover una turbina de impulso similar a la rueda o turbina Pelton la cual puede girar con baja cabeza hidráulica. Esta rueda trasmite su movimiento de rotación a su eje el cual va colocado en posición horizontal, y este a su vez a través de poleas y correas de poliuretano, transmiten su movimiento rotatorio a un agitador de paletas similar al de los floculadores rotatorios convencionales de flujo horizontal. Se trata de una solución intermedia entre los floculadores mecánicos y los hidráulicos, no consume energía eléctrica pero solamente se adapta a ciertas configuraciones de planta de tratamiento donde se pueda aprovechar el agua en proceso de tratamiento para producir la cabeza hidráulica suficiente para mover la rueda Pelton.

❖ **Sedimentación.** El proceso de sedimentación debe realizarse siempre que se tiene que producir coagulación de barrido o por adsorción, para poder remover

la turbiedad. En otros casos es opcional de acuerdo con los ensayos de laboratorio o planta piloto. La unidad de sedimentación debe constar de:

- Zona de entrada,
- Zona de sedimentación,
- Zona de salida
- Zona de recolección de lodos.

Los sedimentadores que pueden emplearse son el de flujo horizontal y flujo vertical. También puede realizarse la sedimentación en unidades con manto de lodos, los que a su vez se dividen en sedimentadores de manto de lodos de suspensión hidráulica y sedimentadores de manto de lodos de suspensión mecánica. Puede además emplearse los sedimentadores de alta tasa. Para los niveles de complejidad de sistema bajo y medio se acepta el empleo del sedimentador de flujo horizontal o de alta tasa. En estos niveles no se aceptan en ningún caso los sedimentadores de manto de lodos, de suspensión mecánica o hidráulica.

- ❖ **Filtración.** Proceso mediante el cual se remueve las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.
- ❖ **Desinfección.** Es obligatorio en todos los niveles de complejidad del sistema, desinfectar el agua sin importar el tipo de tratamiento previo que se haya realizado para su potabilización.

Entre los procesos de desinfección que pueden realizarse está primordialmente la cloración, incluidos sus derivados el dióxido de cloro, los hipocloritos y procedimientos como el de la cloraminación. Como desinfectantes complementarios se tienen el ozono y los rayos ultravioleta. Estos procesos se describen con más detalle en este capítulo. Para la desinfección por cloración, deben emplearse tanques de contacto en los niveles de complejidad de sistema medio alto y alto; en los otros niveles es opcional. El tanque debe proporcionar el tiempo necesario que garantice la desinfección del agua. No se recomienda el uso de cloro gaseoso en el nivel de complejidad de sistema bajo. Para este nivel se recomienda el empleo de compuestos en estado sólido o líquido, como: cal clorada, hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio. Todas las recomendaciones que aquí se dan son aplicables a los cuatro niveles de complejidad del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

### 6.3 MARCO LEGAL

Las normas nacionales y locales aplicables al diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales son:

- ❖ Constitución Política de Colombia, la cual establece el deber del estado de asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos domiciliarios a todos los habitantes del territorio nacional, y mediante los artículos 356 y 357, se crea el Sistema General de Participaciones de los Departamentos, Distritos y Municipios, con el fin de atender los servicios a cargo de estas entidades y proveer los recursos para financiar adecuadamente su prestación.<sup>13</sup>
- ❖ Ley 142 de 1994, Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y regula el sistema de saneamiento básico en Colombia, determinando la obligatoriedad de los municipios de asegurar la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo conforme a las reglas de competencia que trata esta norma.
- ❖ Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud, Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia, cuyos objetivos principales de éste sector están encaminados a contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana, mediante: 1. La prestación eficiente y óptima de los servicios de agua potable y saneamiento básico que coadyuve a reducir la morbilidad y mortalidad originadas por enfermedades producidas por consumo de agua no apta y por la contaminación de excretas y 2. La extensión de coberturas y ampliación de la infraestructura física como factor indispensable para el desarrollo urbano, el crecimiento económico, la reducción de la pobreza y el desarrollo ambientalmente sostenible.
- ❖ La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
- ❖ Decreto 1594/84. “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 09 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 2811 de 1974 en cuanto usos del agua y residuos líquidos”.
- ❖ Decreto 3930 de octubre 25 de 2000. “por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III del

---

<sup>13</sup> Constitución política de Colombia

- Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua residual líquidos y se dictan otras disposiciones”.
- ❖ Decreto 4728 del 2010. “Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 del 2010”.
  - ❖ Acuerdo No. 43 del 2006. “Por medio el cual se establece los objetivos de calidad del agua para la cuenca del Rio Bogotá a lograr en el año 2020”.
  - ❖ Acuerdo 040 de 2009 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA, CAR, “por el cual se establece las metas de reducción de cargas contaminantes de DBO y SST arrojadas a los cuerpos de agua que conforman la cuenca, tratamos y subtramos del Rio Bogotá, y se adoptan otras disposiciones”
  - ❖ CONPES 3320 de 2004. “por medio del cual se define la estrategia ambiental para el manejo del Rio Bogotá”.
  - ❖ Ley 388 de 1997. “la ley orgánica de ordenamiento territorial, como instrumento para la integración del ordenamiento territorial y ambiental”.

## **7. ESTADO DEL ARTE**

La planta de tratamiento de agua residual Madrid-Cundinamarca, al iniciar el presente estudio se encontraba en su etapa final de construcción, fue construida de acuerdo con diseños contratados por la empresa INGENTIVA PROYECTOS E INGENIERÍA SAS, presentados en el 2015.

El proceso constructivo lo adelanto el CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015, la construcción de la planta se inició en el año 2015 y fue terminada en el presente año. Actualmente la Planta de Tratamiento de Agua Residual se encuentra en prueba hidrostática y ensayos de estanqueidad de las diferentes estructuras. Se ensayan los diferentes equipos hidromecánicos, y se prepara para iniciar su operación. El proceso de tratamiento que utilizara es por lodos activados de baja carga. Se espera que trate un 39% del caudal residual domestico de aproximadamente un 40% de la población.

El método de lodos activados fue descubierto hace más de 100 años, es una metodología que sigue siendo utilizada en la mayoría de las plantas de tratamiento de agua residual en el mundo, teniendo en cuenta algunas variaciones en sus procesos internos dependiendo del tipo de lodo a obtener.

El proceso de lodos activados es un proceso biológico, también conocido como bioproceso, que permite el desarrollo de una depuración de origen natural en la que los microorganismos son capaces de devolver –depurar agua contaminada a su estado natural.

### **7.1 NUEVAS TECNOLOGÍAS EN AGUAS RESIDUALES**

El bajo nivel de soluciones avanzadas en el campo de las aguas residuales indica que existe una necesidad urgente de investigación y nuevas tecnologías que mejoren el tratamiento de las aguas residuales. Además, los nuevos contaminantes emergentes evidencian que esta investigación es vital para comprender su naturaleza y las consecuencias que éstos tienen en los recursos hídricos y el medio ambiente, así como para conseguir su absoluta eliminación, permitiendo un uso seguro de las mismas.<sup>14</sup>

#### **7.1.1 Filtración por membranas**

Los avances en la tecnología de membranas no sólo han reducido los riesgos de salud y medioambiente asociados a las aguas residuales, sino que también han abierto nuevas vías como la reutilización potable. El uso de tecnologías de membrana (ósmosis inversa, microfiltración, ultrafiltración, etc.) es cada vez más

---

<sup>14</sup> World Water Development Report 2017

común para el tratamiento terciario o avanzado, especialmente en los países desarrollados. Además, a medida que las membranas continúan mejorando y los costos operacionales disminuyen<sup>15</sup>.

### **7.1.2 Los biorreactores de membrana (MBR)**

Son una tecnología emergente, resultado de innovaciones de la separación por membranas, incorporándola al proceso de fangos activados. Actualmente, el número de plantas con tecnología MBR está en auge. Los MBR ofrecen ventajas tales como compactidad, flexibilidad y capacidad de operar de una manera totalmente fiable bajo control remoto<sup>16</sup>.

### **7.1.3 Las células de combustible microbianas**

Las células de combustible microbianas esta innovación tecnológica, basada en procesos bio-electroquímicos, se comenzó a aplicar en el tratamiento de aguas residuales durante esta última década, con el fin de producir energía (corriente eléctrica) mediante la utilización de la digestión anaeróbica, la cual imita las interacciones bacterianas que se encuentran en la naturaleza. Esta tecnología puede reducir significativamente los costos del proceso de tratamiento y la cantidad de fangos sobrantes. Sin embargo, teniendo en cuenta los retos que plantea su aplicación práctica, se necesitan mejoras para superar las altas necesidades energéticas.

### **7.1.4 Los nuevos desarrollos en los procesos de tratamiento biológico**

Han resultado exitosos debido a la alta eficiencia y bajos costos de inversión y operación. Ejemplos incluyen procesos innovadores para eliminación de nitrógeno mejorado tal como SHARON (sistema de un solo reactor para la eliminación biológica de nitrógeno vía nitrito), ANAMMOX (oxidación anaerobia de amonio) y BABE (potenciación de organismos nitrificantes), así como procesos de cristalización mineral para la recuperación y reutilización del fósforo. Los procesos de tratamiento de los fangos granulares también están surgiendo mediante el uso de estructuras microbianas de ingeniería. El primer fango granular se comercializa bajo el nombre de NEREDA.

### **7.1.5 La nanotecnología**

La nanotecnología es un campo emergente y creciente con aplicaciones muy prometedoras en el tratamiento de aguas residuales, así como en la calidad del

---

filtración por membrana, Luisa Colina Irezaba, disponible en: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion\\_por\\_membrana.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion_por_membrana.pdf)

<sup>16</sup> REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA, diciembre 2011, *Alejandra Velasco Pérez y Rocío Solar González*

agua y el monitoreo de aguas residuales. En la actualidad, las aplicaciones de la nanotecnología en el tratamiento del agua y las aguas residuales se centran en la tecnología de maduración y demostración a gran escala<sup>17</sup>.

#### **7.1.6 Los sistemas innovadores de monitoreo y control de aguas residuales**

Los sistemas innovadores de monitoreo y control de aguas residuales están encontrando aplicaciones en la mejora de tecnologías ya existentes. Los avances tecnológicos más prometedores incluyen: técnicas de monitoreo con nuevos sensores, dispositivos de telemetría computarizados y herramientas innovadoras de análisis de datos. La investigación en nuevos sensores y sistemas de control es uno de los campos que más avanza en la actualidad. Nuevos métodos para controlar el tratamiento de aguas residuales están introduciéndose continuamente, incluyendo aplicaciones móviles para operar SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) para el monitoreo en remoto y el control de los sistemas de aguas residuales.

#### **7.1.7 Los sistemas de tratamiento natural (sistemas de humedales)**

Los sistemas de tratamiento natural son cada vez más atractivos como soluciones naturales para complementar las limitaciones tecnológicas existentes.

---

<sup>17</sup> Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, Chávez-Lizárraga Georgina Aurelia

## 8. METODOLOGÍA

Este proyecto se realiza utilizando una metodología en la que los objetivos específicos presentan diferentes descripciones que permiten la integración y discusión de los datos y recopilación de información, con el fin de lograr un mayor entendimiento y análisis de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual de Madrid 1.

Se definen 6 etapas de recopilación y análisis de información las cuales al ser realizadas permiten cumplir con los objetivos con las que se encuentran asociadas:

- ❖ **La primera etapa**, se solicita formalmente a la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015, permiso para acceder a las instalaciones de la planta y realizar visitas técnicas de inspección, con el fin de revisar el diseño de las estructuras y el estado en que se encuentran, esta etapa es muy importante para el análisis y la recopilación de datos.
- ❖ **La segunda etapa**, se deben revisar los estudios y diseños técnicos, para hacer el seguimiento y establecer el análisis de estos, que se adelantaron durante el desarrollo del proyecto.
- ❖ **La tercera etapa**, se deben analizar y verificar el comportamiento hidráulico elaborado por a la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015.
- ❖ **La cuarta etapa**, se deben identificar la cantidad de lodo que producirá la planta para establecer que alternativas sirven para su aprovechamiento.
- ❖ **La quinta etapa**, se debe hacer el análisis de información de resultados definiendo actividades y responsables.
- ❖ **La sexta y última**, se debe determinar el tipo de difusores para la activación de lodos activados y justificar el presupuesto de costos proyectados y definitivo.

Posteriormente se hace un informe técnico donde se registra fotografías del estado de la planta y la comparación de la contaminación con la que llega el recurso hídrico a la planta y con la que sale.

También se espera el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Como se nombró, el proceso constructivo finalizó el 30 agosto-2018 y se continuo con el plan de precomisionamiento; luego siguió el plan de comisionamiento para así entrar a la fase final de la puesta en marcha del proyecto a partir de enero de este año (2019), según lo que planeó la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015, pero a la fecha no ha entrado en

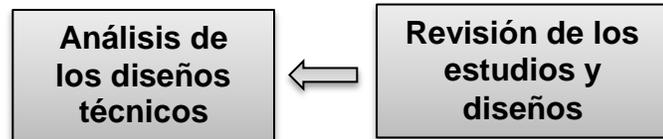
funcionamiento, por problemas económicos con la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAAM E.S.P.

Ilustración 11. Esquema general de la metodología

**1. ETAPA INICIAL. Objetivo específico No.1**



**2. ETAPA. Objetivo específico No.2**



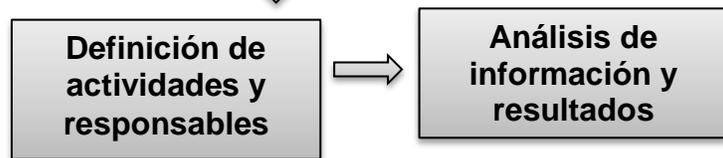
**3. ETAPA. Objetivo específico No.3**



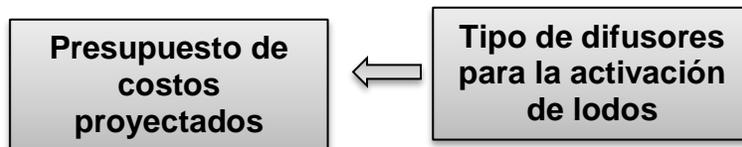
**4. ETAPA. Objetivo específico No.4**



**5. ETAPA. Objetivo específico No.5**



**6. ETAPA FINAL. Objetivo específico No. 6**



Fuente: Autor

## 9. ANÁLISIS DE ESTUDIOS Y DISEÑOS

Revisados los diferentes aspectos relacionados con el diseño y la construcción de la planta Madrid Fase I, se pudo analizar que el proyecto consideró entre otros los siguientes aspectos:

- ❖ Caudal a tratar, calidad del agua afluente al proyecto, costos de operación y mantenimiento.
- ❖ Esta obra se adelantó para dar cumplimiento a la sentencia emanada del Consejo de Estado para la descontaminación del río Bogotá, por lo tanto se diseñó y construyó teniendo en cuenta el cumplimiento de los parámetros y normas de calidad del agua efluente.
- ❖ Los diseños, los equipos suministrados y la infraestructura pertenecen a tecnologías actuales que permiten optimizar y automatizar procesos.
- ❖ En lo correspondiente a la distribución de todos los elementos de la planta, se atendió a la secuencia lógica del proceso de tratamiento, a las características topográficas y geotécnicas del terreno y a la facilidad de la entrega del material tratado (lodo).
- ❖ En la planta se construyó un sistema de modulación que permite seleccionar optimizar e independizar las líneas de tratamiento necesarias para hacer frente a posibles fluctuaciones estacionales de contaminación.
- ❖ En lo que se refiere a la dotación y mantenimiento de las diferentes unidades, se programó y se obtuvo los elementos de reserva necesarios para la operación continua de la planta en sus diversas unidades, a fin de posibilitar su intercambiabilidad y facilitar las operaciones de mantenimiento y explotación.
- ❖ Se tomaron en consideración de todas las medidas de seguridad tanto del personal como de las instalaciones, en cumplimiento de las vigentes normas en cuanto a Seguridad y Salud en el Trabajo.
- ❖ Por último la importancia de este estudio y una vez esté en operación es en primera instancia el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Madrid Cundinamarca cubriendo una necesidad básica y en segunda instancia el mejoramiento en la calidad del agua del río Subachoque y por ende la del río Bogotá.

## 10. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA PARA EL MUNICIPIO DE MADRID-CUNDINAMARCA

Con el fin de realizar los estudios respectivos se requiere elaborar el análisis de población del Municipio de Madrid para un periodo de diseño seleccionado y establecer los consumos de agua y sus variaciones. Se utilizaron el método aritmético, geométrico y/o exponencial.

Para realizar estas proyecciones se recolectaron los datos demográficos del municipio, en especial la de los censos de población del DANE referente a las proyecciones de población municipal de 2005 a 2020.

### 10.1 PERIODO DE DISEÑO

Para todos los componente de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño de 25 años según la Resolución No 0330 del 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.

### 10.2 MÉTODOS PARA LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

#### 10.2.1 Método Aritmético

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

- Pf:** Población correspondiente al año de proyección
- Puc:** Población correspondiente al último año censado con información.
- Pci:** Población correspondiente al censo inicial con información.
- Tuc:** Año correspondiente al último censo con información.
- Tci:** Año correspondiente al censo inicial con información.
- Tf:** Año al cual se quiere proyectar la información.

Tabla 2. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020 DANE

Año	Pci-Puc
2005	53858
2006	55301
2007	56667
2008	58024
2009	59378
2010	60727
2011	62093
2012	63459
2013	64817
2014	66171
2015	67527
2016	68862
2017	70203
2018	71538
2019	72870
2020	74187

Fuente: DANE

Dónde:

$$Pf = 74187 + \frac{74187 - 53858}{2020 - 2005} (2018 - 2020) = 71476$$

$$Pf = 74187 + \frac{74187 - 53858}{2020 - 2005} (2019 - 2020) = 72832$$

$$Pf = 74187 + \frac{74187 - 53858}{2020 - 2005} (2020 - 2020) = 74187$$

Tabla 3. Resultados proyección población Método aritmético

Población proyectada	Pf
2018	71476
2019	72832
2020	74187
2021	75542
2022	76898
2023	78253
2024	79608
2025	80963
2026	82319
2027	83674
2028	85029
2029	86384
2030	87740
2031	89095
2032	90450
2033	91805
2034	93161
2035	94516
2036	95871
2037	97227
2038	98582
2039	99937
2040	101292
2041	102648
2042	104003
2043	105358

Fuente: Autor

### 10.2.2 Método Geométrico

Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual. Se calcula de la siguiente manera:

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

**Pf:** Población correspondiente al año de proyección  
**Puc:** Población correspondiente al último año censado con información.

**Pci:** Población correspondiente al censo inicial con información.

**Tuc:** Año correspondiente al último censo con información.

**Tci:** Año correspondiente al censo inicial con información.

**Tf:** Año al cual se quiere proyectar la información.

**r:** Tasa de crecimiento anual.

Tabla 4. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020

Año	Pci-Puc
2005	53858
2006	55301
2007	56667
2008	58024
2009	59378
2010	60727
2011	62093
2012	63459
2013	64817
2014	66171
2015	67527
2016	68862
2017	70203
2018	71538
2019	72870
2020	74187

Fuente: DANE

Dónde:

$$r_{20-05} = \left( \frac{74187}{53858} \right)^{\left( \frac{1}{2020-2005} \right)} - 1 = 0,0216 \approx 2,16 \%$$

$$r_{20-06} = \left( \frac{74187}{55301} \right)^{\left( \frac{1}{2020-2006} \right)} - 1 = 0,0212 \approx 2,12 \%$$

$$r_{20-07} = \left( \frac{74187}{56667} \right)^{\left( \frac{1}{2020-2007} \right)} - 1 = 0,0209 \approx 2,10 \%$$

Tabla 5. Tasa de crecimiento

Tasa de crecimiento	
r 20-05	0,0216
r 20-06	0,0212
r 20-07	0,0209
r 20-08	0,0207
r 20-09	0,0204
r 20-10	0,0202
r 20-11	0,0200
r 20-12	0,0197
r 20-13	0,0195
r 20-14	0,0192
r 20-15	0,0190
r 20-16	0,0188
r 20-17	0,0186
r 20-18	0,0183
r 20-19	0,0181

Fuente: Autor

Dónde:

$$Pf = 74187 (1 + 0.0216)^{(2018-2020)} = 71086$$

$$Pf = 74187 (1 + 0.0212)^{(2018-2020)} = 71138$$

$$Pf = 74187 (1 + 0.0207)^{(2018-2020)} = 71175$$

Tabla 6. Resultados proyección población Método geométrico

	Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Prom	
	r	0,0216	0,0212	0,0209	0,0207	0,0204	0,0202	0,0200	0,0197	0,0195	0,0192	0,0190	0,0188	0,0186	0,0183	0,0181		
Población Proyectada	2018	71086	71138	71175	71210	71244	71275	71310	71346	71380	71413	71448	71475	71507	71538	71576	71341	
	2019	72620	72646	72665	72683	72700	72717	72735	72753	72770	72787	72804	72818	72834	72850	72870	72750	
	2020	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187	74187
	2021	75788	75760	75740	75722	75704	75687	75668	75650	75632	75614	75596	75581	75565	75548	75528	75652	
	2022	77423	77367	77326	77288	77252	77218	77180	77141	77105	77069	77031	77002	76968	76934	76893	77147	
	2023	79094	79008	78945	78887	78832	78779	78721	78662	78607	78552	78494	78449	78397	78346	78283	78670	
	2024	80801	80683	80599	80520	80444	80372	80293	80213	80137	80063	79985	79924	79853	79783	79697	80224	
	2025	82544	82394	82286	82185	82089	81998	81896	81795	81698	81604	81504	81426	81336	81247	81138	81809	
	2026	84325	84142	84009	83886	83767	83656	83532	83407	83289	83174	83052	82956	82846	82737	82604	83426	
	2027	86145	85926	85768	85621	85480	85347	85200	85052	84912	84774	84629	84516	84385	84255	84097	85074	
	2028	88004	87748	87564	87393	87228	87073	86901	86729	86565	86405	86236	86104	85952	85801	85617	86755	
	2029	89903	89609	89398	89201	89012	88834	88637	88439	88251	88068	87874	87723	87548	87375	87164	88469	
	2030	91843	91510	91270	91046	90832	90630	90407	90182	89970	89762	89542	89371	89173	88978	88740	90217	
	2031	93825	93450	93181	92930	92689	92463	92212	91960	91722	91490	91243	91051	90829	90610	90344	92000	
	2032	95850	95432	95132	94852	94585	94333	94053	93773	93509	93250	92976	92762	92516	92273	91976	93818	
	2033	97918	97456	97124	96815	96519	96240	95932	95622	95330	95044	94741	94506	94234	93966	93639	95672	
	2034	100031	99523	99157	98818	98493	98187	97847	97508	97186	96873	96540	96282	95984	95690	95331	97563	
	2035	102189	101633	101234	100862	100507	100172	99801	99430	99079	98737	98374	98092	97766	97445	97054	99492	
	2036	104394	103789	103353	102949	102562	102198	101794	101390	101009	100636	100242	99936	99582	99233	98808	101458	
	2037	106647	105990	105518	105079	104659	104264	103827	103389	102976	102573	102145	101814	101431	101054	100594	103464	
2038	108948	108238	107727	107253	106799	106373	105901	105428	104982	104546	104085	103728	103314	102907	102412	105509		
2039	111299	110533	109983	109472	108983	108524	108015	107507	107026	106558	106062	105677	105233	104795	104263	107595		
2040	113701	112877	112286	111736	111212	110718	110172	109626	109111	108608	108076	107664	107187	106718	106147	109723		
2041	116155	115271	114637	114048	113486	112957	112372	111788	111236	110698	110128	109687	109177	108676	108066	111892		
2042	118661	117716	117037	116408	115806	115242	114616	113992	113402	112827	112220	111749	111205	110670	110019	114105		
2043	121222	120212	119488	118816	118174	117572	116905	116239	115611	114998	114351	113849	113270	112700	112007	116361		

### 10.2.3 Método Exponencial

La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f - T_{ci})}$$

- Pf:** Población correspondiente al año de proyección  
**Pci:** Población correspondiente al censo inicial con información.  
**Tci:** Año correspondiente al censo inicial con información.  
**Tf:** Año al cual se quiere proyectar la información.  
**k:** Tasa de crecimiento de la población.

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

- Pcp:** Población del censo posterior.  
**Pca:** Población del censo anterior.  
**Tcp:** Año correspondiente a censo posterior.  
**Tca:** Año correspondiente a censo anterior.  
**Ln:** Logaritmo natural.

Tabla 7. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020

Año	Pci-Puc
2005	53858
2006	55301
2007	56667
2008	58024
2009	59378
2010	60727
2011	62093
2012	63459
2013	64817
2014	66171
2015	67527
2016	68862
2017	70203
2018	71538
2019	72870
2020	74187

Fuente: DANE

Dónde:

$$k = \frac{\ln(55301) - \ln(53858)}{2006 - 2005} = 0.0264 \approx 2,64 \%$$

$$k = \frac{\ln(56667) - \ln(55301)}{2007 - 2006} = 0.0244 \approx 2,44 \%$$

$$k = \frac{\ln(58024) - \ln(56667)}{2008 - 2007} = 0.0237 \approx 2,37 \%$$

Tabla 8. Tasa de crecimiento

Tasa de crecimiento	
k 20-05	0,0264
k 20-06	0,0244
k 20-07	0,0237
k 20-08	0,0231
k 20-09	0,0225
k 20-10	0,0222
k 20-11	0,0218
k 20-12	0,0212
k 20-13	0,0207
k 20-14	0,0203
k 20-15	0,0196
k 20-16	0,0193
k 20-17	0,0188
k 20-18	0,0184
k 20-19	0,0179
k Promedio	0,0213

Fuente: Autor

Dónde:

$$Pf = 53858 * e^{0.0213 * (2018 * 2005)} = 71086$$

$$Pf = 53858 * e^{0.0213 * (2019 * 2005)} = 72620$$

$$Pf = 53858 * e^{0.0213 * (2020 * 2005)} = 74187$$

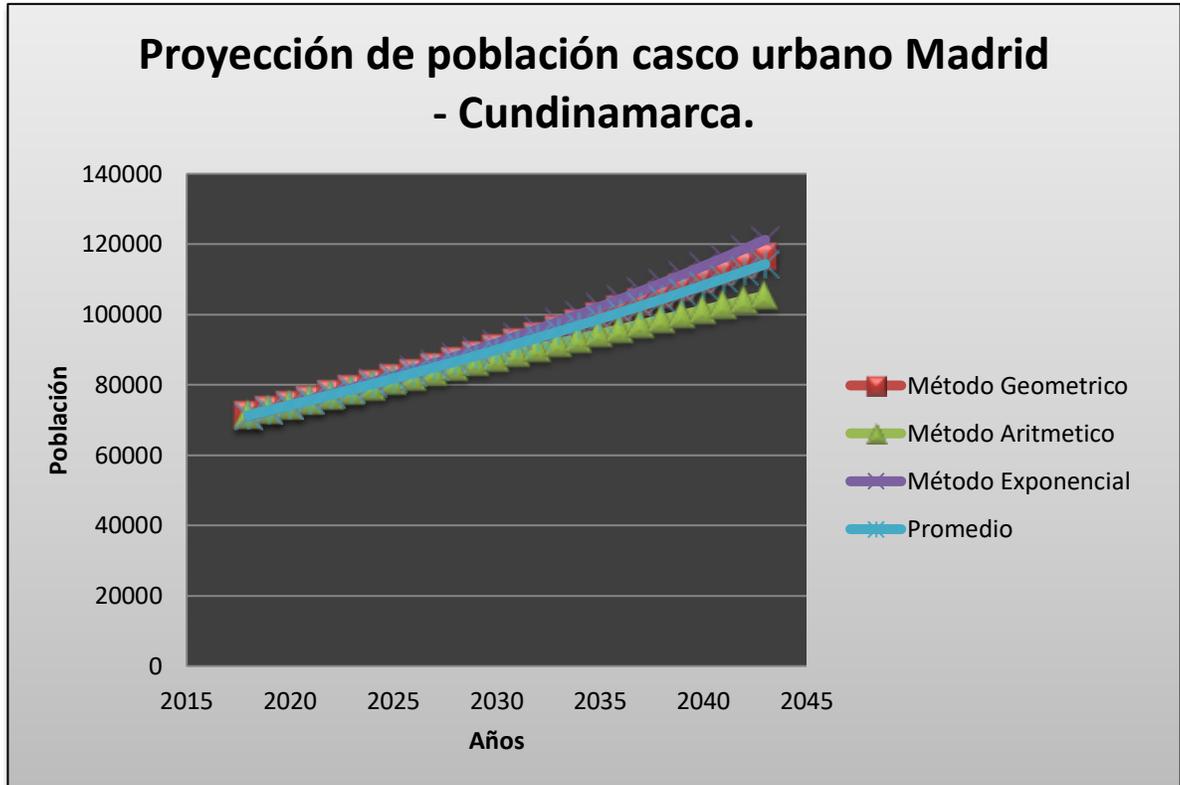
Tabla 9. Promedio de la población Madrid-Cundinamarca

<b>Año</b>	<b>Método Geométrico</b>	<b>Método Aritmético</b>	<b>Método Exponencial</b>	<b>Promedio</b>
2018	71341	71476	71086	71301
2019	72750	72832	72620	72734
2020	74187	74187	74187	74187
2021	75652	75542	75788	75661
2022	77147	76898	77423	77156
2023	78670	78253	79094	78672
2024	80224	79608	80801	80211
2025	81809	80963	82544	81772
2026	83426	82319	84325	83357
2027	85074	83674	86145	84964
2028	86755	85029	88004	86596
2029	88469	86384	89903	88252
2030	90217	87740	91843	89933
2031	92000	89095	93825	91640
2032	93818	90450	95850	93373
2033	95672	91805	97918	95132
2034	97563	93161	100031	96918
2035	99492	94516	102189	98732
2036	101458	95871	104394	100575
2037	103464	97227	106647	102446
2038	105509	98582	108948	104347
2039	107595	99937	111299	106277
2040	109723	101292	113701	108239
2041	111892	102648	116155	110231
2042	114105	104003	118661	112256
2043	116361	105358	121222	114314

Fuente: Autor

De lo anterior se concluye que la población proyectada para la PTAR I de Madrid es de 114.314 habitantes para el año 2043.

Ilustración 12. Grafica promedio de la población Madrid - Cundinamarca



Fuente: Autor

### 10.3 DOTACIÓN NETA

Para efectos de calcular el caudal de diseño se hace indispensable definir la dotación neta per cápita de aportes unitarios de cada habitante, esta se escoge de acuerdo a los metros sobre el nivel del mar del municipio de Madrid, y representa la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, esta variable se expresa en L/hab\*día, su valor e escoge de acuerdo a la Resolución No 0330 del 2017 "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009".

Tabla 10. Dotación Neta Máxima

<b>Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida</b>	<b>Dotacion neta Máxima (l/hab*día)</b>
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.	130
< 1000 m..n.m	140

Fuente: Resolución 0330 del 2017. Dotación Neta Máxima por Habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

## 11. CALCULO DE CAUDALES

El municipio Madrid-Cundinamarca presenta un sistema de alcantarillado residual combinado, en este caso, el caudal de aguas residuales se establece con las contribuciones domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de infiltración, sin adicionar las conexiones erradas. En este caso solo se tendrán en cuenta las domesticas y de infiltración.

### 11.1 CAUDAL DE INFILTRACIÓN

El caudal de infiltración, que se calcula con base en un factor de 0,1 L/s\*ha y 0,3 L/s\*ha para el diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de acuerdo con las características topográficas del suelo según Resolución No 0330 del 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”, Art 134.

$$Q_I = 0,1 \frac{l}{s * ha} * A$$

$$Q_I = 0,1 \frac{l}{s*ha} * 267,47 \text{ Ha}$$

$$Q_I = 26,747 \frac{l}{s}$$

### 11.2 CAUDAL AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$Q_D = \frac{C_R * Poblacion(hab) * D_{neta}}{86400}$$

$$Q_D = \frac{0,85 * 114314 \text{ Hab} * 120 \frac{L}{hab * día}}{86400}$$

$$Q_D = 134,95 \frac{l}{s}$$

El Coeficiente de retorno ( $C_R$ ) debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor

de 0,85 y la Dotación neta se evalúa como en la tabla 9, según la Resolución No 0330 del 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”, Art 134.

### 11.3 CAUDAL MEDIO DE DISEÑO:

$$QMD = Q_D + Q_I$$

$$QMD = 134,95 \frac{l}{s} + 26,747 \frac{l}{s}$$

$$QMD = 161,70 \frac{l}{s}$$

### 11.4 CAUDAL MÁXIMO HORARIO:

El factor de mayoración (K) utilizado en la estimación del caudal máximo horario debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en las cuales se tenga en cuenta los patrones de consumo de la población. En ausencia de datos de campo, se debe estimar teniendo en cuenta las limitaciones que puedan presentarse en su aplicabilidad. Este valor deberá estar entre 1,4 y 3,8 según la Resolución No 0330 del 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”, Art 134.

En este caso se toma  $K=2,2$

$$QMH = QMD * K$$

$$QMH = 161,70 \frac{l}{s} * 2,2$$

$$QMH = 355,74 \frac{l}{s}$$

### 11.5 CAUDAL MÁXIMO DIARIO:

En este caso se toma  $K=1,7$

$$QMD = QMD * K$$

$$QMD = 161,70 \frac{l}{s} * 1,7$$

$$QMD = 274,89s$$

### 11.6 CAUDAL MÁXIMO MENSUAL:

En este caso se toma  $K=1,3$

$$QMM = QMD * K$$

$$QMM = 161,70 \frac{l}{s} * 1,3$$

$$QMM = 210,21 \frac{l}{s}$$

Tabla 11. Caudales

<b>Año Proyección</b>	<b>Proyeccion urbana</b>	<b>Caudal infiltración</b>	<b>Caudal de aguas residuales domésticas</b>	<b>Caudal medio de diseño</b>	<b>Caudal máximo horario</b>	<b>Caudal máximo diario</b>	<b>Caudal máximo mensual</b>
Año	Habitantes	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s	L/s
2018	71301	26.747	84.18	110.92	244.03	188.57	144.20
2019	72734	26.747	85.87	112.61	247.75	191.44	146.40
2020	74187	26.747	87.58	114.33	251.52	194.36	148.63
2021	75661	26.747	89.32	116.07	255.35	197.32	150.89
2022	77156	26.747	91.09	117.83	259.23	200.32	153.18
2023	78672	26.747	92.88	119.62	263.17	203.36	155.51
2024	80211	26.747	94.69	121.44	267.17	206.45	157.87
2025	81772	26.747	96.54	123.28	271.22	209.58	160.27
2026	83357	26.747	98.41	125.15	275.34	212.76	162.70
2027	84964	26.747	100.31	127.05	279.51	215.99	165.17
2028	86596	26.747	102.23	128.98	283.75	219.26	167.67
2029	88252	26.747	104.19	130.93	288.05	222.59	170.21
2030	89933	26.747	106.17	132.92	292.42	225.96	172.79
2031	91640	26.747	108.19	134.93	296.85	229.39	175.41
2032	93373	26.747	110.23	136.98	301.35	232.86	178.07
2033	95132	26.747	112.31	139.06	305.92	236.39	180.77
2034	96918	26.747	114.42	141.16	310.56	239.98	183.51
2035	98732	26.747	116.56	143.31	315.27	243.62	186.30
2036	100575	26.747	118.73	145.48	320.06	247.32	189.13
2037	102446	26.747	120.94	147.69	324.92	251.07	192.00
2038	104347	26.747	123.19	149.93	329.85	254.89	194.91
2039	106277	26.747	125.47	152.21	334.87	258.76	197.88
2040	108239	26.747	127.78	154.53	339.96	262.70	200.89
2041	110231	26.747	130.13	156.88	345.14	266.70	203.95
2042	112256	26.747	132.52	159.27	350.40	270.76	207.05
2043	114314	26.747	134.95	161.70	355.74	274.89	210.21

Fuente. Autor

## 12. DATOS DE PARTIDA

De acuerdo con los datos realizados por el CONSORCIO AGUAS DE MADRID, que se destinó de los datos indicados en la Documentación aprobados por la CAR, se acumulan los valores empleados en el diseño en la siguiente tabla 11:

Tabla 12. Resumen de laboratorios empleados para el diseño de la PTAR-Madrid

Contaminación				
Concentración DBO5	mg/l	416	416	416
Carga diaria DBO5	kg/día	3.162.24	3.680.64	4.250.88
Concentración DQO	mg/l	600	600	600
Carga diaria DQO	kg/día	6.324.48	7.361.28	8.501.76
Contentración SST	mg/l	300	300	300
Carga diaria SST	kg/día	3.162.24	3.680.64	4.250.88
Concentración NTK	mg/l	60	60	60
Carga diaria NTK	kg/día	632,45	736,13	850,18
Concentración de P Total	mg/l	9,2	9,2	9,2
Carga diaria de P Total	kg/día	96,98	112,87	130,36
Alcalinidad CO3Ca	mg/l	300	300	300
Grasas y aceites	mg/l	90	90	90
Coliformes fecales	Col/100 ml	1,00E+08	1,00E+08	1,00E+08
Altura sobre el nivel del mar	msnm	2540	2540	2540
Temperatura media	°C	19	19	19
Temperatura mínima	°C	16	16	16
		<b>Actual (2018)</b>	<b>Etapa 1 (2025)</b>	<b>Etapa 2 (2043)</b>

Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Tabla 13. Resumen de valores empleados para el diseño de la PTAR-Madrid

Población				
Poblacion	Hab.	71301	81772	114314
Caudales				
Caudal infiltración	l/s	26,75	26,75	26,75
Caudal aguas residuales domésticas	l/s	84,18	96,54	134,95
Caudal medio diseño	l/s	110,92	123,28	161,70
Caudal máximo horario	l/s	244,03	271,22	242,55
Caudal máximo diario	l/s	188,57	209,58	274,89
Caudal maximo mensual	l/s	144,20	160,27	210,21
		<b>Actual (2018)</b>	<b>Etapa 1 (2025)</b>	<b>Etapa 2 (2043)</b>

Fuente: Autor

Requisitos que cumplir por la instalación

Características del efluente:

DBO5  $\leq$  50 mg/l

SST  $\leq$  40 mg/l

DQO  $\leq$  180 mg/l

NTK Total  $\leq$  10 mg/l de N

Coliformes  $\leq$  2E+4/100 ml

Grasas y aceites  $\leq$  10 mg/l

pH entre 6 y 9

Características del fango:

Sequedad  $\geq$  20%

Fracción SVT en fango  $\leq$  60%

De acuerdo con los datos y comparándolos con los valores máximos aceptables de los parámetros de DQO, DBO, SST y grasas y aceites de la resolución 631 del MADS, se puede afirmar que los valores se encuentran dentro del rango admisible.

Sin embargo, se considera que las condiciones del agua de salida pueden mejorar implementando un sistema más avanzado y de mayor grado de depuración.

## 12.1 PROCESO DE TRATAMIENTO

El proceso de tratamiento utilizado consiste en unos Lodos Activados de Baja Carga, la configuración de los reactores biológicos adoptada es la denominada “Barnard o Ludzak-Ettinger modificado” capaz de remover el NTK hasta valores menores de 10 ppm en la salida del efluente. El sistema propuesto permite la utilización de una o varias líneas de tratamiento para operar en paralelo. Por lo expuesto anteriormente, se toma la decisión de realizar el diseño de varios de los componentes unitarios en dos etapas, la primera hasta el año 2025 y la segunda, hasta el año 2043. En la siguiente tabla 13, se relacionan las operaciones unitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Madrid I y el número de unidades a implementar en cada etapa de tratamiento.

Tabla 14. Proceso unitario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Proceso unitario	Tipo de estructura	Etapa 1 Año 2025	Etapa 2 Año 2043
Desarenador	Uno mecanizado más uno manual	Cada uno con capacidad hasta el año 2043	
Aforo	Canaleta Parshall	1 unidades. capacidad hasta el año 2043	
Tanques de aireación	Rectangulares en concreto con difusores	3 unidades. capacidad hasta el año 2025	1 unidad. capacidad complementaria hasta el
Sedimentadores	Circular en concreto	3 unidades. capacidad hasta el año 2025	1 unidad. capacidad complementaria hasta el
Estación de bombeo de lodos y recirculación	Rectangular en concreto con 3 bombas de retorno	3 unidades. capacidad hasta el año 2025	1 unidad. capacidad complementaria hasta el año 2043
	+ 2 de evacuación de excesos de lodo		
Sistema de cloración	Sistema de Cloro Gaseoso	Sistema de almacenamiento y dosificación diseñado con capacidad hasta el año 2025	

Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

## 12.2 DIAGNOSTICO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA PTAR

### 12.2.1 Obra de llegada, pozo de gruesos.

Se proyectó un pozo de gruesos de 19,67 m<sup>3</sup> de volumen útil. Dotado de cuchara bivalva de 250 litros para la extracción de sólidos. Se comunica con el bombeo en cabeza de la instalación mediante hueco protegido con reja de muy gruesos de 100 mm de luz. En el que se situó 4 bombas centrífugas sumergibles de 341 m<sup>3</sup>/h. Hay espacio para colocar una quinta bomba en el futuro y otra bomba para impulsión de caudales en exceso en la entrada.

Ilustración 13. Pozo de gruesos



Fuente: Autor

Ilustración 14. Hueco con reja de gruesos de 100 mm luz



Fuente: Autor

Ilustración 15. Pozo de gruesos y cuchara bivalva



Fuente: Autor

### 12.2.2 Desbaste

Se proyectaron tres canales de desbaste idénticos. Dos de ellos equipados en primer lugar con rejillas de gruesos automáticos de 30 mm de paso y aguas abajo de las mismas, con tamices de finos automáticos de 3 mm de paso. El tercer canal de reserva y mantenimiento está dotado con reja manual de 12 mm. Cada una de las dos líneas automatizadas será capaz de tratar la mitad del caudal máximo en el año horizonte (Año 2043).

La extracción y prensado de los residuos procedentes del desbaste se realizó mediante un tornillo transportador-compactador para las rejillas de gruesos y un tornillo transportador-compactador para los tamices de finos, con un contenedor metálico de 3 m<sup>3</sup> de capacidad por cada tornillo-transportador.

Ilustración 16. Canales de desbaste



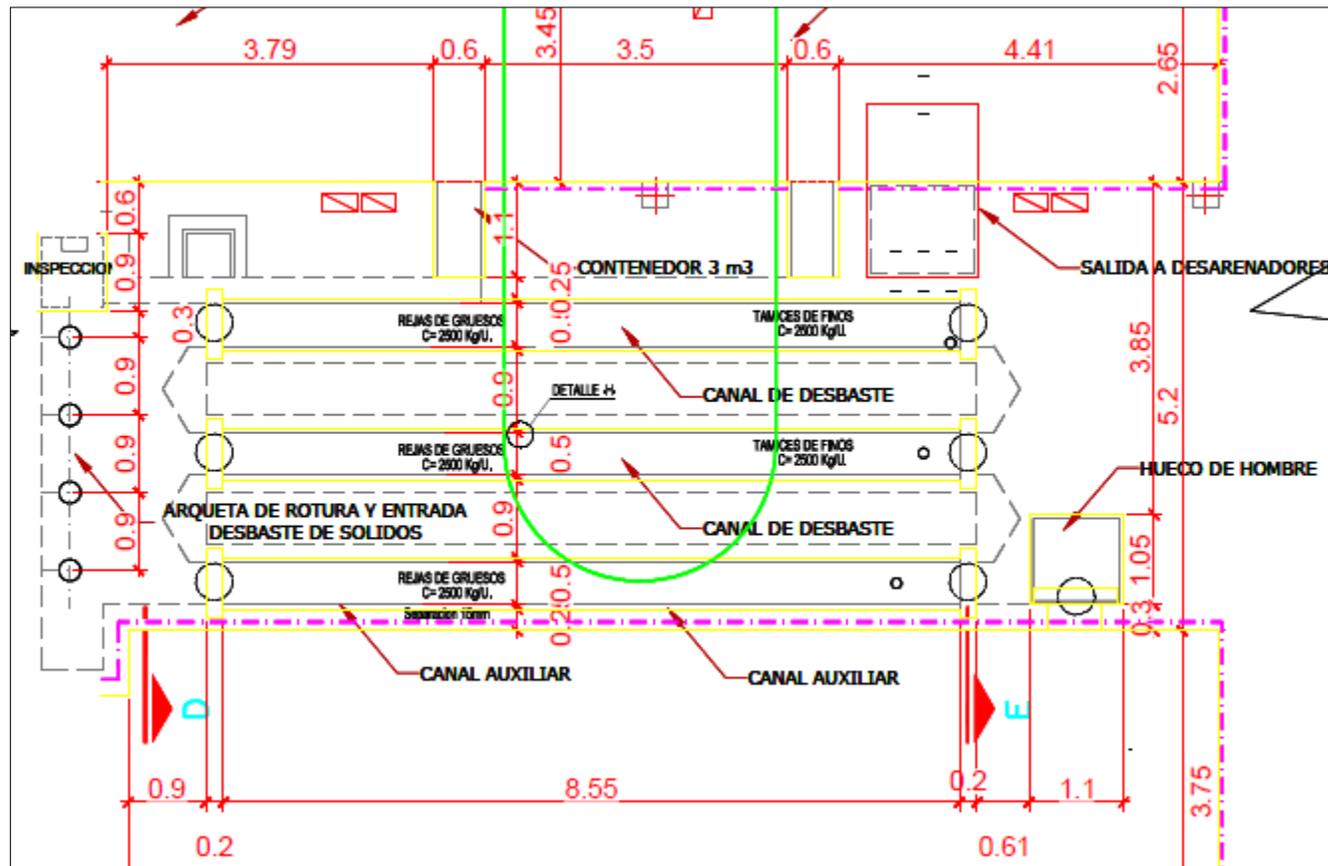
Fuente: Autor

Ilustración 17. Canales de desbaste



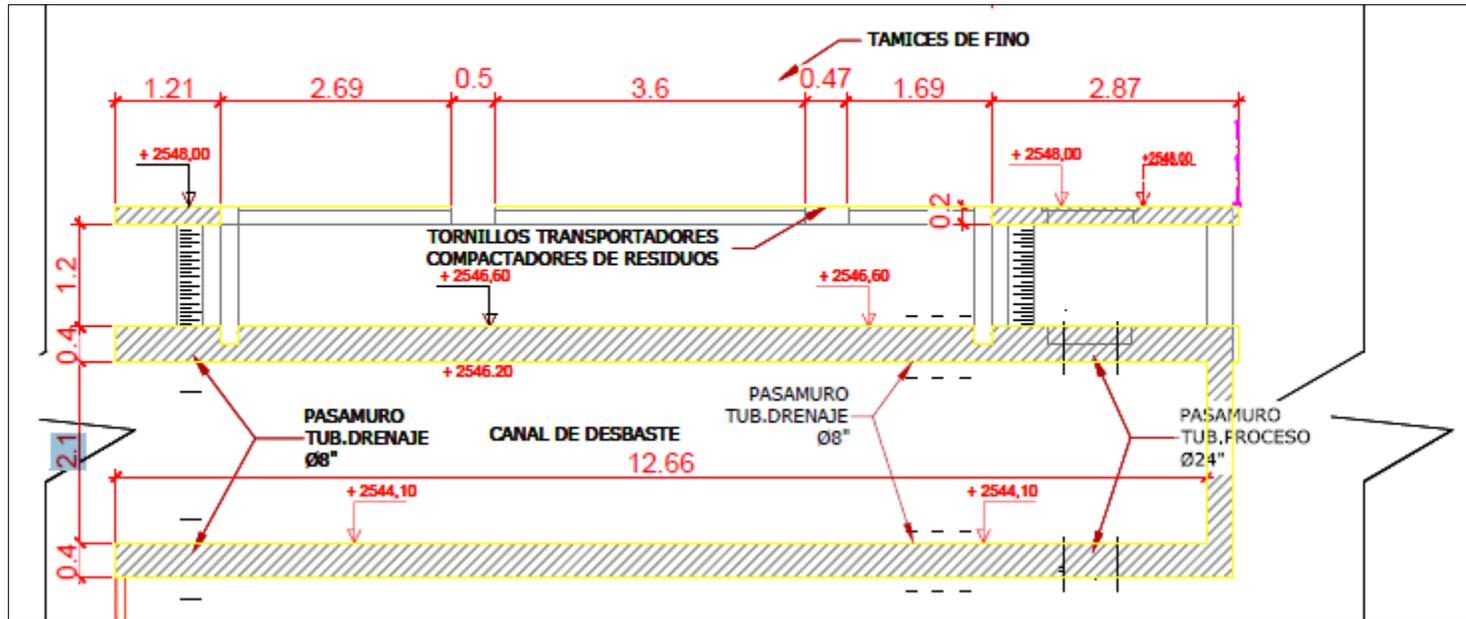
Fuente: Autor

Ilustración 18. Vista planta Canal Desbaste



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Ilustración 19. Vista perfil Canal Desbaste



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Tabla 15. Criterios de diseño de las rejillas de desbaste

Parámetro	Valor o rango
Velocidad mínima de paso	0,6 m/s (caudal medio)
Velocidad máxima de paso	1,4 m/s (caudal máximo)
Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza	30%
Pérdida de carga máxima admisible	15 cm (caudal medio)

Fuente: Material de clase para las asignaturas de tratamiento de aguas residuales<sup>18</sup>

Tabla 16. Resumen de datos para el diseño de los canales de desbaste

<b>Bc = Ancho canal</b>	0,5	m
<b>L= Luz o espacio entre barrotes, gruesos</b>	0,015	m
<b>b= Ancho de los barrotes gruesos</b>	0,03	m
<b>G = Grado de colmatación</b>	30	%
<b>Q = Caudal medio diseño</b>	0,1617	m <sup>3</sup> /s
<b>Vp = Velocidad para entre rejilla</b>	0,6	m/s

Fuente: Autor

### 1. Área del canal de desbaste

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

**AR:** Área útil del canal en la zona de la rejilla (m<sup>2</sup>)

**Bc:** Ancho del canal (m)

**L:** Luz o espacio entre barrotes (m)

**b:** Ancho de los barrotes gruesos (m), ancho de los barrotes entre (1.3 a 2.5 cm)

**G:** Grado de colmatación usualmente se adopta a un valor de 30%

$$AR = 0.5m * \frac{0.015m}{0.015m+0.03m} * \left( 1 - \frac{0.3}{100} \right)$$

**AR = 0.117 m<sup>2</sup>.** Área para cada canal de desbaste

<sup>18</sup> (LOZANO, 2012)

## 2. Ancho o profundidad de la rejilla

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

**P:** Profundidad en la zona de rejillas (m)

**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/s)

**Vp:** Velocidad pasa entre rejilla (m/s), velocidad máx. 0.6 m/s para un medio de diseño para un caudal medio diseño.

$$P = 0.1617\text{m}^3/\text{s} * \frac{0.03\text{m}+0.015\text{m}}{\left(1-\frac{30}{100}\right) * 0.6\text{m}/\text{s} * 0.015\text{m} * 0.5\text{m}}$$

**P = 2.31 m.** Ancho o profundidad de cada rejilla

## 3. Perdida de carga generada por la rejilla

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

**$\Delta H$ :** Perdida de carga generada por rejilla (m)

**Vp:** Velocidad de paso a través de la rejilla (m/s)

$$\Delta H = \frac{0.6 \text{ m}/\text{s}^2}{9.1}$$

**$\Delta H = 0.040 \text{ m.}$**  Perdida de carga generada por cada rejilla

## 4. Número de barrotes

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

**N:** Numero barrotes

**Bc:** Ancho del canal (m)

**L:** Luz o espacio entre barrotes (m)

**b:** Ancho de los barrotes (m)

$$N = \frac{0.50\text{m}-0.015\text{m}}{0.03\text{m}+0.015\text{m}}$$

**N = 10.77  $\approx$  11.** Número de barrotes por canal

Tabla 17. Resumen de resultados para el diseño de los canales de desbaste

<b>AR = Área util del canal en la zona de la rejilla</b>	0,117	m <sup>2</sup>
<b>P = Ancho o profundidad Rejilla</b>	2,310	m
<b>ΔH = Pérdida de carga generada por la rejilla</b>	0,040	m
<b>N = Número de Barrotes</b>	10,778	

Fuente: Autor

### 12.2.3 Desarenador - Desengrasado

Se realizó en dos desarenadores-desengrasadores rectangulares aireados, de 3,5 m. de anchura (incluyendo 1,1 m. de zona de desengrasado) y 12 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 50 m<sup>3</sup>/h a 2,5 m.c.a. y un tiempo de funcionamiento de 30 min/h en el año horizonte, lo que supone una capacidad de extracción de 50 l./m<sup>3</sup> de agua residual de entrada. 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 soplantes 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 proyectamos un bypass para labores de mantenimiento.

Ilustración 20. Desarenador – Desengrasado



Fuente: Autor

Ilustración 21. Desarenador - Desengrasado



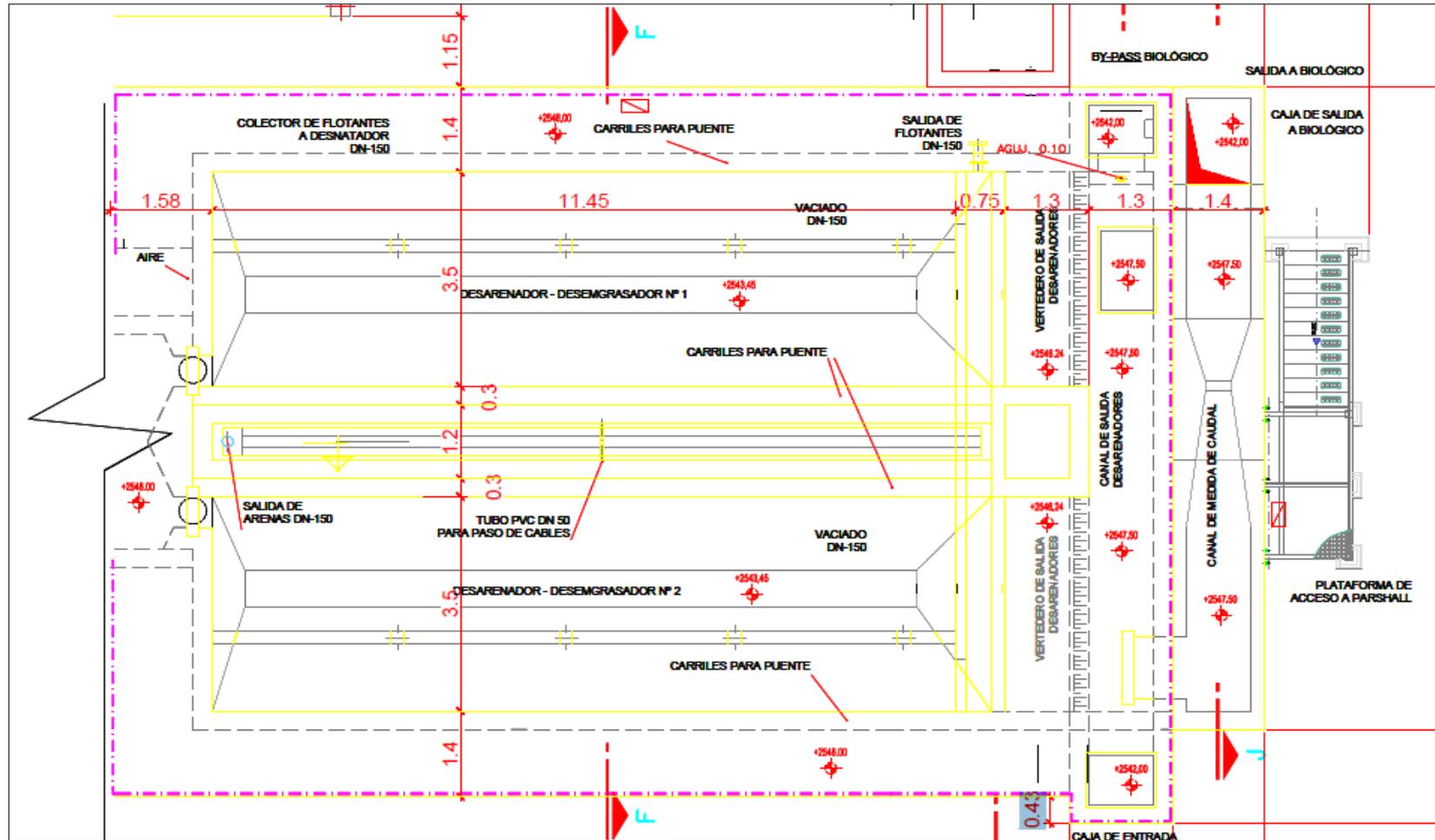
Fuente: Autor

Ilustración 22. Desarenador-Desengrasado y Canaleta Parshall



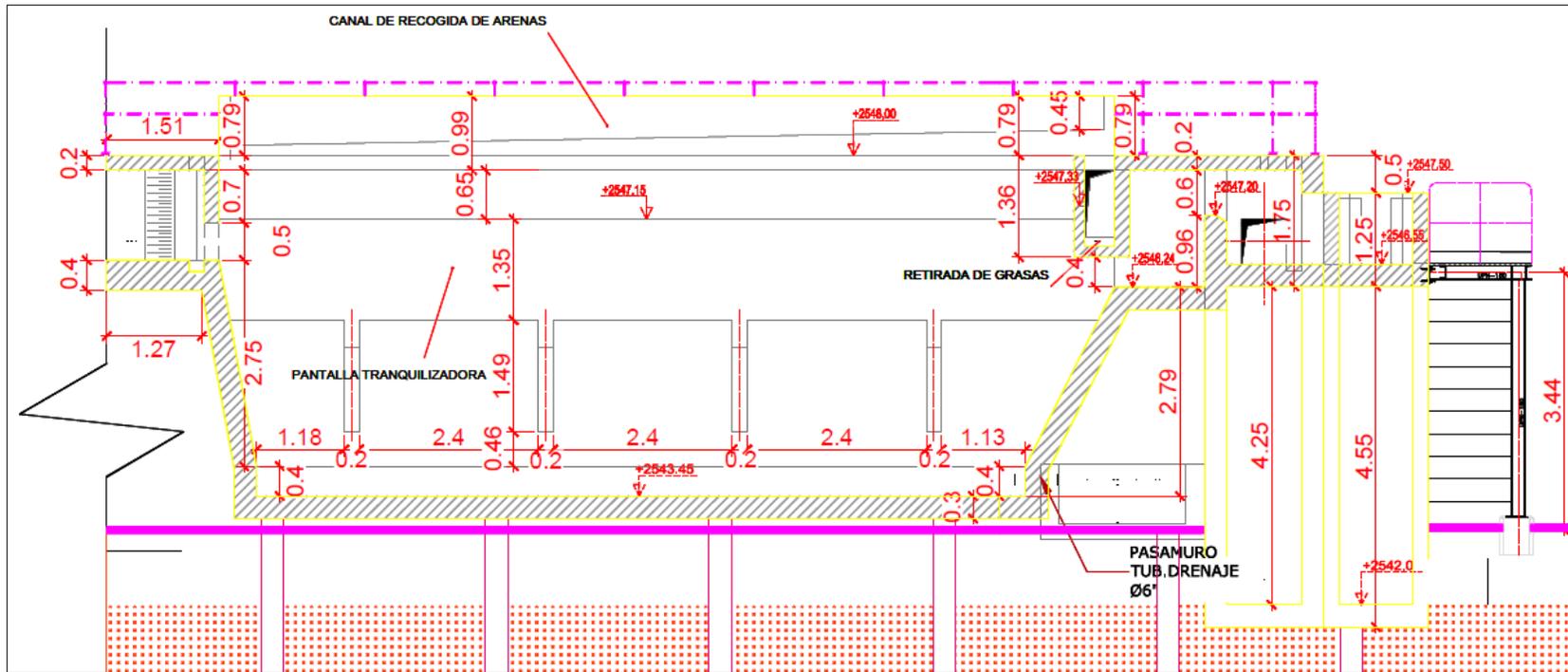
Fuente: Autor

Ilustración 23. Vista en planta Desarenador - Desengrasado



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Ilustración 24. Vista perfil longitudinal Desarenador - Desengrasado



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Tabla 18. Criterios de diseño para desarenadores - desengrasadores

Parámetro	Valor o rango
Carga superficial	< 40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> * h
Tiempo de retención hidráulica TRH	12 a 16 min
Caudal medio diseño	0,2 a 0,4 m <sup>3</sup> /s
Velocidad horizontal flujo	0,02 a 0,07
Profundidad	2 a 5 m
Longitud	7,5 a 2 m
Ancho	3 a 8 m

Fuente: Material de clase para las asignaturas de tratamiento de aguas residuales<sup>19</sup>

Tabla 19. Resumen de datos para el diseño de desarenador-desengrasado

<b>Cs = Carga superficial</b>	26	m/h
<b>TRH =Tiempo de retencion hidráulica</b>	900	s
<b>Vh = Velocidad horizontal del flujo</b>	0,02	m/s
<b>Q = Caudal de aguas residuales</b>	0,1617	m <sup>3</sup> /s
<b>Qp = Caudal punta, máximo horario</b>	873	m <sup>3</sup> /h
<b>Qp = Caudal punta, máximo horario</b>	0,2425	m <sup>3</sup> /s
<b>Suministro de aire</b>	1	m <sup>3</sup> /h*m <sup>3</sup>

Fuente: Autor

### 1. Volumen requerido

$$V = Q * THR$$

**V:** Volumen requerido (m<sup>3</sup>)

**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/s)

**THR:** Tiempo de retención hidráulico (min)

$$THR = 15 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 900 \text{ s}$$

$$V = 0.1617 \frac{m^3}{s} * 900 \text{ s}$$

<sup>19</sup> (LOZANO, 2012)

$$V = 145.53 \text{ m}^3$$

## 2. Área superficial

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

**As:** Área superficial (m<sup>2</sup>)

**Qp:** Caudal punta, caudal máximo horario (m<sup>3</sup>/h)

**Cs:** Carga superficial (m/s)

$$Q = 0.2425 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1 \text{ h}} = 873 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$As = \frac{873 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{26 \text{ m/h}}$$

$$As = 33.57 \text{ m}^2$$

## 3. Área transversal

$$AT = \frac{Qp}{Vh}$$

**At:** Área transversal (m<sup>2</sup>)

**Qp:** Caudal punta, caudal máximo horario (m<sup>3</sup>/s)

**Vh:** Velocidad horizontal flujo (m/s)

$$AT = \frac{0.2425 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.02 \text{ m/s}}$$

$$AT = 12.125 \text{ m}^2$$

## 4. Longitud del canal

$$L = \frac{V}{AT}$$

**L:** Longitud del canal (m)

**V:** Volumen requerido (m<sup>3</sup>)

**At:** Área transversal (m<sup>2</sup>)

$$L = \frac{145.53 \text{ m}^3}{12.125 \text{ m}^2}$$

$$L = 12.00 \text{ m}$$

#### 5. Profundidad del canal

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

**P:** Profundidad del canal (m)

**V:** Volumen requerido (m<sup>3</sup>)

**As:** Área superficial (m<sup>2</sup>)

$$P = \frac{145.53 \text{ m}^3}{33.57 \text{ m}^2}$$

$$P = 4.33 \text{ m}$$

#### 6. El ancho unidad desarenador

$$B = \frac{V}{P*L}$$

**B:** Ancho unidad desarenador (m)

**V:** Volumen requerido (m<sup>3</sup>)

**L:** Longitud del canal (m)

**P:** Profundidad del canal (m)

$$B = \frac{145.53 \text{ m}^3}{4.33 \text{ m} * 12.00 \text{ m}}$$

$$B = 2.8 \text{ m}$$

#### 7. Ancho total unidad adicionando un tercio (1/3) más del ancho de la zona del desarenador para proyectar la zona de desengrasado

$$BT = B * \left(\frac{B}{3}\right)$$

**Bt:** Ancho total unidad (m)

**B:** Ancho unidad desarenador (m)

$$BT = 2.8 * \left(\frac{2.8}{3}\right) = 3.73 \text{ m}$$

8. Suministro de aire, asumiendo un valor de 1m<sup>3</sup>/h\*m<sup>3</sup>

**Aire** = Suministro \* ∇

∇: Volumen requerido (m<sup>3</sup>)

$$\text{Aire} = 1.0 \frac{m^3 \text{ aire}}{h * m^3} * 145.53m^3 = 145.53 \frac{m^3}{h}$$

Tabla 10. Resumen de resultados para el diseño de desarenador-desengrasado

<b>∇ = Volumen requerido</b>	145,53	m <sup>3</sup>
<b>AS = Área superficial</b>	33,58	m <sup>2</sup>
<b>AT = Área transversal</b>	12,13	m <sup>2</sup>
<b>L = Longitud de canal</b>	12,00	m
<b>P = Profundidad de canal</b>	4,33	m
<b>B = Ancho de la unidad del desarenador</b>	2,80	m
<b>BT= Ancho total unidad</b>	3,73	m
<b>Suministro de aire</b>	145,53	m <sup>3</sup> /h

Fuente: Autor

### 12.2.4 Reactores Biológicos

Se diseñó un reactor biológico que consiste en un proceso de aireación prolongada de baja carga con configuración rectangular. Se diseñó cuatro líneas de tratamiento, tres de ellas se construyen en la primera fase (año 2025) y se reserva sitio para una cuarta línea que se construirá para el año horizonte (2043).

El volumen total del reactor biológico en el año horizonte es de 12.450 m<sup>3</sup> y constará de 4 líneas con un volumen unitario de 3.075 m<sup>3</sup>/línea. En la primera fase se construye únicamente tres reactores. (2015, 2015)

Ilustración 25. Tres reactores Biológicos



Fuente: Autor

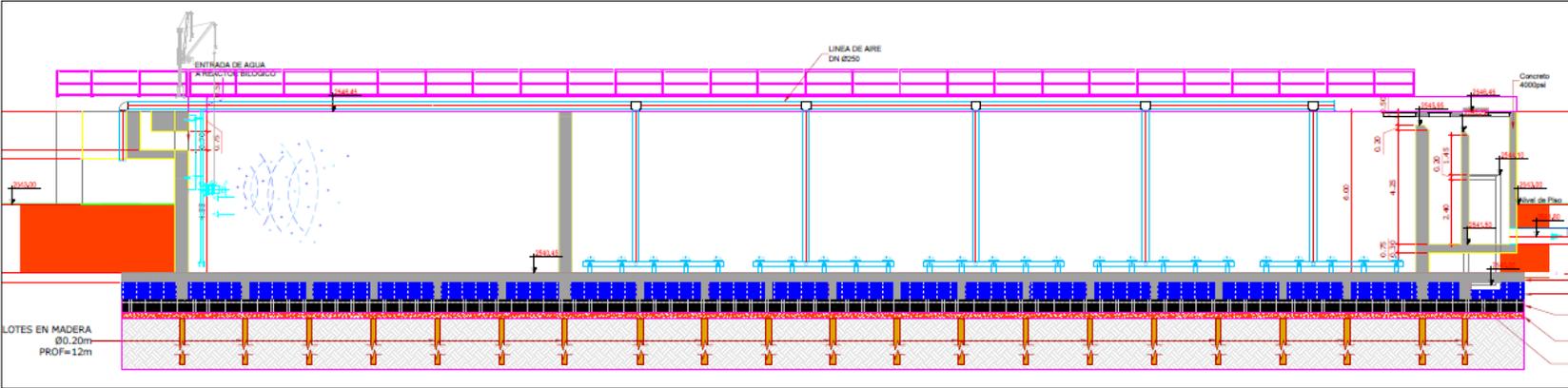
Ilustración 26. Reactores Biológicos



Fuente: Autor

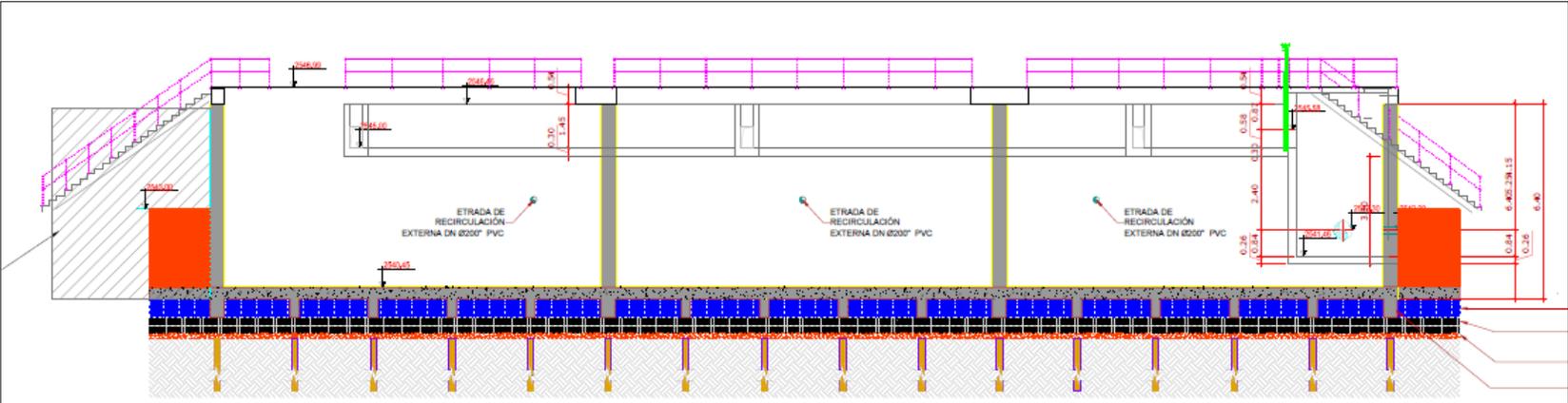


Ilustración 28. Vista perfil longitudinal Reactor Biológico



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Ilustración 29. Vista perfil transversal Reactor Biológico



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Tabla 20. Criterios de diseño para los reactores de lodos activados

Parámetro	Alta carga	Carga media convencional	Carga baja
Color fango	Gris marrón	Marrón	Chocolate
carga másica (cm)(kgDBO5/m3*d)	0,4-1,5	0,1-1,0	0,03-0,12
carga volumétrica (cv)(kgDBO5/m3*d)	1,6-16	0,-30	0,16-0,4
Tiempo de retención celular (TRC)(días)	5,0-10	5,0-15	20-30
TRH (horas)	0,5-4,0	4,0-10	18-36
SSLM (PPm) tanque	1000-2000	2000-3000	3000-6000
Tasa de recirculación (%)	100-500	24-50	75-150
Relación F/M	0,4-1,5	0,2-0,8	0,05-0,15
Eficiencia media (%)	80	90	90

Fuente: Material de clase para las asignaturas de tratamiento de aguas residuales<sup>20</sup>

Método de alta carga permite reducir costos de construcción pero los decantadores secundarios son más grandes y los caudales son pequeños (< 400 m3/d)

Tabla 21. Resumen de datos para el diseño de los reactores de lodos activados

TRC = Tiempo de retención celular	5	d
Y = Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0,4 - 0,8)	0,4	
Q = Caudal medio de diseño	13970,88	m3/d
So = DQO inicial en el afluente	0,6	kg/m3
S = DQO final en el efluente	0,05	kg/m3
X = SSLM - sólidos suspendidos de	3	kg/m3
Kd = Coeficiente de eliminación de bacterias	0,075	d
Xr = SSLM - Sólidos suspendidos de	15	kg/m3
E = Eficiencia media	0,9	%
Cs = Concentración de sólidos totales de	15000	mg/l
Difusores por reactor	375	

Fuente: Autor

## 1. Volumen del tanque de aireación de lodos activados

<sup>20</sup> (LOZANO, 2012)

$$V = \frac{TRC * Y * Q * (S_0 - S)}{x * (1 + (k_d * TRC))}$$

**V:** Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

**TRC:** Tiempo de retención celular (d)

**Y:** Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0.4 -0.8)

**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)

**S<sub>0</sub>:** DQO inicial en el afluente (kg/m<sup>3</sup>)

**S:** DQO final en el efluente (kg/m<sup>3</sup>)

**X:** SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – tanque

**K<sub>d</sub>:** Coeficiente de eliminación de bacterias (oscila entre 0.040 – 0.075)

$$V = \frac{5 \text{ d} * 0.4 * 13970.88 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * (0.60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0.050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{3.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1 + (\frac{0.075}{\text{d}} * 5 \text{ d}))}$$

$$V = 3725.568 \text{ m}^3$$

## 2. Carga másica

$$C_m = \frac{S_0 * Q}{V * X}$$

**C<sub>m</sub>:** Carga másica (Kg DQO/ Kg SSLM\*d)

**S<sub>0</sub>:** DQO inicial en el afluente (kg/m<sup>3</sup>)

**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)

**V:** Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

**X:** SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – tanque

$$C_m = \frac{0.60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 13970.88 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{3725.568 \text{ m}^3 * 3.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$C_m = 0.75 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{kg SSLM} * \text{d}}$$

Este valor se encuentra dentro del rango recomendado para los reactores operados de forma convencional 0.1 a 1.0 Kg DBO<sub>5</sub>/ Kg SSLM\*d y por lo tanto, se acepta.

## 3. Tiempo hidráulico

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

**TRH:** Tiempo hidráulico (horas)  
**V:** Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)  
**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)

$$TRH = \frac{3725.568 \text{ m}^3}{13970.88 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

**TRH = 0.266 día**  
**TRH = 0.266 día \* 24 horas = 6.38 horas**

Este tiempo está muy cerca del rango recomendado para la operación de reactores de carga convencional 4 a 10 horas y por lo tanto, se acepta.

#### 4. Caudal purga

Despejando “Qp” de la fórmula para el cálculo del tiempo de retención celular, es:

Tiempo de retención celular:

$$TRC = \frac{V * X}{Qp * Xr}$$

Caudal purga:

$$Qp = \frac{V * X}{TRC * Xr}$$

**Qp:** Caudal purga (m<sup>3</sup>/d)  
**V:** Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)  
**X:** SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – tanque  
**TRC:** Tiempo de retención celular (d)  
**Xr:** SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – lodo

$$Qp = \frac{3725.568 \text{ m}^3 * 3.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{5 \text{ d} * 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Q_p = 149.02 \frac{m^3}{d}$$

El caudal purga corresponde al volumen que se extrae del decantador secundario y que se llevara a tratamiento de lodos.

### 5. Caudal de recirculación

$$Q_r = \frac{(Q \cdot X) - (Q_p \cdot X_r)}{X_r - x}$$

- Q<sub>r</sub>**: Caudal de recirculación (m<sup>3</sup>/d)  
**Q**: Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)  
**X**: SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – tanque  
**X<sub>r</sub>**: SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – lodo

$$Q_r = \frac{\left(13970.88 \frac{m^3}{d} * 3.0 \frac{kg}{m^3}\right) - \left(149.02 \frac{m^3}{d} * 15 \frac{kg}{m^3}\right)}{15 \frac{kg}{m^3} - 3.0 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Q_r = 3306.445 \frac{m^3}{d}$$

### 6. Tasa de recirculación

$$\text{Tasa de recirculación} = \frac{Q_r}{Q}$$

- Q<sub>r</sub>**: Caudal de recirculación (m<sup>3</sup>/d)  
**Q**: Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)

$$\text{Tasa de recirculación} = \frac{3306.445 \frac{m^3}{d}}{13970.88 \frac{m^3}{d}}$$

$$\text{Tasa de recirculación} = 0.2366 \approx 24\%$$

Este valor se encuentra dentro del rango recomendado para los reactores operados de forma convencional 24 a 50 %

## 7. Relación alimento/microorganismos (F/M)

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X}$$

**F/M:** Relación alimento/microorganismos

**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)

**V:** Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

**X:** SSLM – solidos suspendidos (kg/m<sup>3</sup>) – tanque

**So:** DQO inicial en el afluente (kg/m<sup>3</sup>)

$$\frac{F}{M} = \frac{13970.88 \frac{m^3}{d} * 0.60 \frac{kg}{m^3}}{3725.568 m^3 * 3.0 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\frac{F}{M} = 0.75$$

Este valor se encuentra dentro del rango recomendado para reactores operados de forma convencional que debe oscilar entre 0.2 – 0.8.

## 8. Producción del lodo

$$P_x = \frac{y \cdot Q \cdot (S_0 - S)}{1 + k_d \cdot TRC}$$

**Px:** Producción del lodo (kg/d)

**Y:** Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0.4 -0.8)

**Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)

**So:** DQO inicial en el afluente (kg/m<sup>3</sup>)

**S:** DQO final en el efluente (kg/m<sup>3</sup>)

**Kd:** Coeficiente de eliminación de bacterias (oscila entre 0.040 – 0.075)

**TRC:** Tiempo de retención celular (d)

$$P_x = \frac{0.4 * 13970.88 \frac{m^3}{d} * (0.60 \frac{kg}{m^3} - 0.05 \frac{kg}{m^3})}{1 + \frac{0.075}{d} * 5d}$$

$$P_x = 2235.3408 \frac{kg}{d}$$

## 9. Producido de solidos totales desecho

$$\text{Lodo seco} = \frac{P_x}{E}$$

**Px:** Producción del lodo (kg/d)

**E:** Eficiencia media (%)

$$\text{Lodo seco} = \frac{2235.3408 \frac{kg}{d}}{0.9}$$

$$\text{Lodo seco} = 2483.713 \frac{kg}{d}$$

## 10. Caudal de lodos de desecho

$$Q_w = \frac{\text{Lodo seco}}{C_s}$$

**Qw:** Caudal de lodos de desecho (kg/d)

**Cs:** Concentración de solidos totales de lodo (mg/l)

$$Q_w = \frac{2483.712 \frac{kg}{d}}{15000 \text{ mg/l}}$$

$$Q_w = 166 \frac{m^3}{d}$$

## 11. Cantidad de oxigeno requerido

$$DO = 1.5 * Q (S_o - S) - 1.42 * E * Q_w$$

- Do:** Cantidad de oxígeno (kgO/d)
- Q:** Caudal medio diseño (m<sup>3</sup>/d)
- So:** DQO inicial en el afluente (mg/l)
- S:** DQO final en el efluente (mg/l)
- E:** Eficiencia media (%)
- Qw:** Caudal de lodos de desecho (m<sup>3</sup>/d)

$$DO = 1.5 \cdot 13970.88 \frac{m^3}{d} \left( 600 \frac{mg}{l} - 50 \frac{mg}{l} \right) - 1.42 \cdot 0.9 \cdot 166 \frac{m^3}{d}$$

$$DO = 11525.8 \frac{KgO}{d}$$

## 12. Caudal de aire

$$Q_{aire} = \frac{Do}{O \rho_{aire}}$$

- Qaire:** Caudal de aire (m<sup>3</sup>/d)
- O:** Porcentaje de oxígeno (%)

$$Q_{aire} = \frac{11525.8 \frac{KgO}{d}}{0.232(1.2)}$$

$$Q_{aire} = 41400.14 \frac{m^3}{d} = 1725 \frac{m^3}{h}$$

## 13. Caudal de aire por cada difusor

375 difusores por cada reactor como se puede percibir en la ilustración 30.

**Total de difusores = 375 difusores \* 3 reactores**

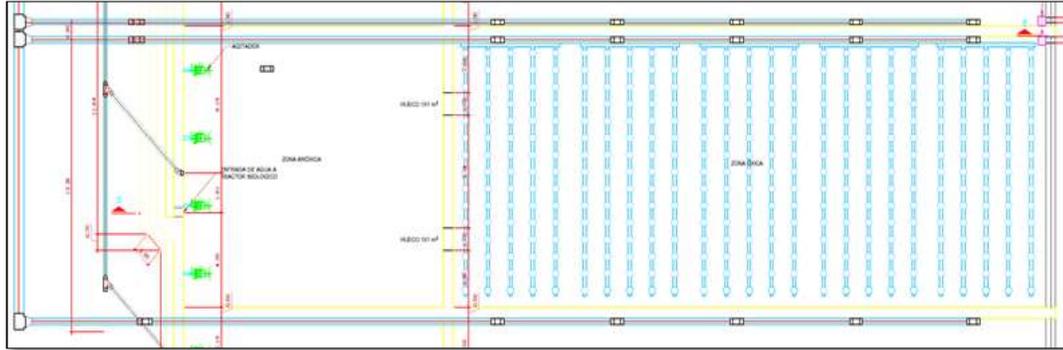
**Total de difusores = 1125 difusores**

$$Q_{aire \text{ por difusor}} = \frac{1725 \frac{m^3}{h}}{1125 \text{ difusores}}$$

$$Q_{aire \text{ por difusor}} = 1.53 \frac{m^3}{h}$$

Según las características el sistema de aireación de burbuja fina Gama ABS PRK 300, cada difusor debe tener un rango de caudal de aire de diseño 1,5-8,0 m<sup>3</sup>/d/difusor

Ilustración 30. Reactor con sus difusores



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Tabla 22. Resumen de resultados para el diseño de los reactores de lodos activados

<b>V = Volumente del tanque</b>	3725,57	m <sup>3</sup>
<b>C<sub>m</sub> = Carga másica</b>	0,75	kg DQO/ kg SSLM*d
<b>THR =Tiempo hidráulico</b>	0,27	d
<b>Q<sub>p</sub> = Caudal purga</b>	149,02	m <sup>3</sup> /d
<b>Q<sub>r</sub> = Caudal recirculación</b>	3306,44	m <sup>3</sup> /d
<b>Tasa de recirculación</b>	24	%
<b>F/M = Relación alimento/microorganismos</b>	0,75	
<b>P<sub>x</sub> = Producción del lodo</b>	2235,3408	kg/d
<b>Lodo seco</b>	2483,712	kg/d
<b>Q<sub>w</sub> = Caudal de lodos de desecho</b>	166	m <sup>3</sup> /d
<b>DO = Cantidad de oxígeno</b>	11525,8	KgO <sub>2</sub> /d
<b>Q<sub>aire</sub> = Caudal de aire</b>	41400	m <sup>3</sup> /d
<b>Q<sub>aire por difusor</sub></b>	1,53	m <sup>3</sup> /h

Fuente: Autor

#### 14. Especificaciones técnicas difusores para reactores biológicos

Se utiliza el sistema de aireación de burbuja fina Gama ABS PRK 300, son difusores de disco de membrana de burbuja fina para aireación energéticamente eficiente en plantas de tratamientos de aguas residuales e ideales para la eliminación de elementos biológicos.

##### ❖ **Ventajas.**

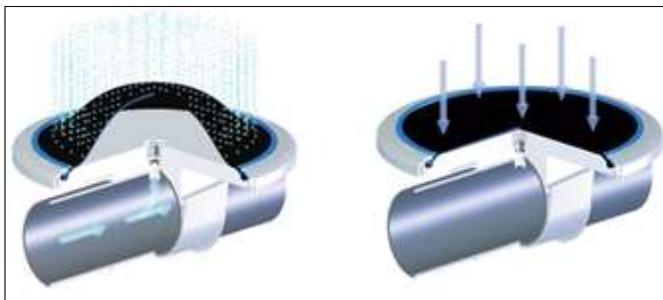
- Instalación rápida y sencilla
- Flexibilidad en el diseño de la instalación y al impedir la infiltración de fangos en el sistema de tuberías de aireación cuando se interrumpe el flujo de aire.
- Resistencia a altas temperaturas

##### ❖ **Características.**

- Tipo: Burbuja Fina
- Marca: ABS o equivalente.
- Modelo: PRK 300
- Tamaño de burbuja: 1-3 mm.
- Diámetro del difusor: 336 mm (13")
- Rango de caudal de aire de diseño 1,5-8,0 m<sup>3</sup>/h/difusor
- Temperatura del aire, máx.+ 100 °

❖ **Funcionamiento.** El cuerpo principal distribuye el aire uniformemente sobre la superficie completa de la membrana. El aire se disemina en pequeñas burbujas cuando se libera a través de la membrana. Cuando se apaga el caudal de aire, la presión del agua situada encima aprieta el disco de la membrana firmemente contra el cuerpo principal para cerrar las pequeñas rendijas en la membrana, como se puede percibir en la ilustración 31.

Ilustración 31. Principio de funcionamiento del sistema de aireación



Fuente: Sulzer<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> (SULZER, 2012)

### 12.2.5 Decantación secundaria

Se realizó mediante tres vertederos iguales ubicados en el canal de salida del reactor biológico, uno por línea, y el agua será conducida a cada decantador secundario mediante tres tuberías de igual diámetro con una compuerta de aislamiento en cada una de ellas para poder funcionar indistintamente con cada uno de los decantadores. La decantación secundaria se realizó en tres decantadores de puente móvil y rasquetas articuladas, con un diámetro de 30 m y un calado en la vertical del vertedero de 3,14 m.

Ilustración 32. Decantadores Secundarios



Fuente: Autor

Ilustración 33. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid-Cundinamarca



Fuente: Autor





Tabla 23. Criterios de diseño para los decantadores secundarios

Parámetro	Valor o rango
Tiempo de retención hidráulica TRH	3 a 5 horas
Carga superficial	< 1,5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> * h (caudal máximo)
Profundidad del decantador	3 a 6 m
Pendiente del fondo	3% a 8%

Fuente: Material de clase para las asignaturas de tratamiento de aguas residuales<sup>22</sup>

Tabla 24. Resumen de datos para el diseño de los decantadores secundarios

TRH =Tiempo de retencion hidráulica	3	h
Cs = Carga superficial	1	m/h
Qp = Caudal punta, máximo horario	873,18	m <sup>3</sup> /h

Fuente: Autor

### 1. Volumen de cada decantador secundario

$$V = Q_p * TRH$$

V: Volumen de cada decantador secundario (m<sup>3</sup>)

Qp: Caudal punta, caudal máximo horario (m<sup>3</sup>/h)

TRH: Tiempo de retención hidráulico (h)

$$V = 873.18 \frac{m^3}{h} * 2h$$

$$V = 2619.54 \text{ m}^3$$

### 2. Área superficial

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s}$$

As: Área superficial (m<sup>2</sup>)

---

<sup>22</sup> (LOZANO, 2012)

**Qp:** Caudal punta, caudal máximo horario (m<sup>3</sup>/h)

**Cs:** Carga superficial (m/h)

$$As = \frac{873.18 \frac{m^3}{h}}{1 \frac{m}{h}}$$

$$As = 873.18 \text{ m}^2$$

3. Altura de cada decantador

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

**P:** Altura de cada decantador secundario (m)

**V:** Volumen de cada decantador secundario (m<sup>3</sup>)

**As:** Área superficial (m<sup>2</sup>)

$$P = \frac{2619.54 \text{ m}^3}{873.18 \text{ m}^2}$$

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

4. Diámetro del tanque

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

**D:** Diámetro de cada decantador secundario (m)

**As:** Área superficial (m<sup>2</sup>)

$$D = \sqrt{\frac{4 * 873.18 \text{ m}^2}{\pi}} = 33.34 \text{ m} \approx 33 \text{ m}$$

5. Perímetro de cada decantador

$$\text{Perímetro} = \pi * D$$

**D:** Diámetro de cada decantador secundario (m)

$$\text{Perímetro} = \pi * 33 \text{ m}$$

$$\text{Perímetro} = 103.67 \text{ m}$$

## 6. Carga sobre vertedero

$$Cv = \frac{Qp}{Perímetro}$$

**Cv:** Carga sobre vertedero (m<sup>3</sup>/h\*m)

**Qp:** Caudal punta, caudal máximo horario (m<sup>3</sup>/h)

$$Cv = \frac{873.18 \frac{m^3}{h}}{104.74 m}$$

$$Cv = 8.33 \frac{m^3}{h*m}$$

Tabla 25. Resumen de resultados para el diseño de los decantadores secundarios

<b>V = Volumen de cada decantador</b>	2619,54	m <sup>3</sup>
<b>As = Área superficial</b>	873,18	m <sup>2</sup>
<b>P = Altura de cada decantador</b>	873,18	m <sup>2</sup>
<b>D = Diámetro de cada decantador</b>	33,35	m
<b>Perímetro (m)</b>	104,72	m
<b>Carga sobre vertedero (m<sup>3</sup>/h*m)</b>	8,34	m <sup>3</sup> /h*m

Fuente: Autor

### 12.2.6 Bypass de caudal del tratamiento biológico

A la salida de los desarenadores se ha proyectado un bypass del tratamiento biológico mediante un juego de compuertas. Una que cierra la entrada del canal de medida de caudal a tratamiento biológico, y otra que abre la entrada a la tubería de bypass, tubería que conduce el agua a la entrada del canal de cloración.

### 12.2.7 Medida de Caudal Pretratado.

Se proyecta un canal de 1 m de anchura para medida de caudales con sonda de ultrasonido. La longitud de este canal es aproximadamente de 7 m. En su mitad, situamos una garganta normalizada Typ QV 310 **Khafagi Venturi** de 400 mm de ancho de garganta. La capacidad máxima de medida es un caudal de 500 l/s, apropiado para los fines que perseguimos en esta depuradora. (2015, 2015)

### **12.2.8 Espesador de fangos.**

Los fangos en exceso son extraídos desde la recirculación externa de fangos y son impulsados a espesamiento mediante bombas sumergibles de 35 m<sup>3</sup>/h de caudal y 10 m.c.a.

Se proyecta el espesador por gravedad está dimensionado para tener una capacidad de almacenamiento de fangos mayor de 48 h, para de esta manera almacenar el fango durante los fines de semana (48 h) donde la deshidratación esté fuera de servicio. Se dimensiona un espesador de fangos de 10 m de diámetro y 3,5 m de calado en la vertical del vertedero.

### **12.2.9 Desinfección mediante cloro gas.**

Se proyectó una desinfección del efluente en cámara de contacto, mediante la dosificación de cloro gas. Se utilizó un sistema de dosificación de cloro gaseoso con capacidad para una dosificación en la entrada de la cámara de contacto de cloro a una concentración de 5 ppm a caudal punta en el año horizonte. El sistema de dosificación de cloro -que es automático- se realiza mediante un Clorador dotado de auto válvula digital. Este está conectado a la línea de agua de dilución y tiene una capacidad de dosificar entre 0 y 250 lbs/día (113,40 Kg/d) de cloro gaseoso.

Se diseñó una cámara de contacto con un tiempo de retención de 15 minutos sobre el caudal punta en el año de diseño (2043). Así, se diseña una cámara de contacto con un volumen de 260 m<sup>3</sup>.

La cámara de contacto forma de laberinto en 20 pasos de 0,97 m de ancho, de manera que su relación longitud/anchura será superior a 20, consiguiendo, de esta forma, que la cloración se desarrolle de forma correcta.

### **12.2.10 Deshidratación de fangos**

Se ha diseñado la deshidratación de fangos, mediante unas centrífugas de deshidratación de alta sequedad, con un período de funcionamiento de 7 horas/día durante 5 días/semana.

### **12.2.11 Edificio administrativo.**

La caseta de operación tiene una planta de 298 m<sup>2</sup>, en un solo nivel, a cota +2544,10, con una altura libre de 2.40 m, dispone:

- ❖ Recepción
- ❖ Oficina Técnica

- ❖ Oficina Administrativa
- ❖ Sala de juntas
- ❖ El laboratorio
- ❖ Aseos
- ❖ Vestuarios
- ❖ Bodega (taller-almacén).

## 13. PRESUPUESTO

En este capítulo se abordará el presupuesto del sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Madrid Cundinamarca. Servirá para describir los resultados correspondientes, verificar los logros o remediar las diferencias que se relacionan con el control financiero de la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015.

### 13.1 PRESUPUESTO TOTAL

A partir de la fecha inicial en que se firmó el contrato de la correspondiente obra pública No 044 de 2015, la cual tenía como objeto “CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MADRID I EN EL MUNICIPIO DE MADRID-CUNDINAMARCA.”, se determinaron 3 prórogas en el que se definió el tiempo adicional que se otorgó a la entidad contratista que por una u otra razón no pudo entregar la obra en el tiempo inicialmente estipulado.

El 07 de Mayo de 2015 la empresa CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015 firmo el contrato con un valor inicial de **\$21.381.493.545** con un plazo de 10 meses para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, su fecha de inicio fue el 20 de Mayo de 2015 y la fecha final era para el 20 de Marzo del 2016 con una fecha de suspensión de 44 días por problemas del clima del municipio ya que estaba muy variante.

Se estipulo en definitiva un alargamiento de tiempo establecido en determinado contrato, en donde se implanta la primera prórroga de 18 meses desde el 04 de Mayo de 2016 hasta el 03 de Noviembre de 2017, por motivos en que las estructuras se estaban presentando grietas por los choques térmicos y por la ubicación de la PTAR a las afueras del Municipio de Madrid Cundinamarca, en que se presentaron retrasos con la maquinaria por falta de combustible.

Luego se da la segunda prórroga de tres meses desde el 04 de Noviembre de 2017 hasta el 03 de Febrero de 2018, con el fin de impermeabilizar las estructuras construidas y afectadas debido a que el concreto de 4000 psi se fabricaba INSITU y presentaba ciertos retrasos.

Y finalmente se dio la última prórroga desde el 04 de Febrero de 2018 hasta el 04 de Enero de 2019, con una adición de **\$7.882.466.996** que hasta el día de hoy la empresa contratante Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAAM E.S.P, solo ha abonado la mitad de la suma y por esta razón a la fecha no ha entrado en funcionamiento la PTAR. Esta adición se hizo con el fin de hacer las de pruebas de pre-arranque y las pruebas operacionales de estanqueidad con agua cruda y potable y la construcción del sendero peatonal. Con un valor total del contrato de **\$29.263.960.541.**

## 14. CONCLUSIONES

Se adquirió la información necesaria que permitió identificar que la PTAR Madrid I, recién construida, posee especificaciones técnicas de funcionamiento y mantenimiento acordes con su objetivo, para ello la planta fue diseñada con componentes tales que permitían realizar un pretratamiento, tratamiento biológico, el tratamiento secundario y el, todo ello para tratar por máximo 161,7 l/s.

En base a los diseños técnicos de la PTAR Madrid I, se concluye que las estructuras de la planta de agua residual se encuentran en buen estado, ya que impermeabilizaron cada una de ellas y su construcción es reciente y su diseño cumple con los parámetros establecidos para realizar vertimientos en la fuente receptora SUBACHOQUE, para disminuir la contaminación al río Bogotá. Sin embargo, aún no están en funcionamiento; en diciembre del año 2018 se finalizaron las pruebas hidrostáticas y de estanqueidad para ponerla en funcionamiento en enero de este año (2019), según lo que planeó la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015, pero a la fecha no ha entrado en funcionamiento, por dificultades económicas con la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAAM E.S.P.

La planta de tratamiento de Madrid-Cundinamarca tuvo un avance tecnológico que brindara al municipio mejores condiciones en el tratamiento del agua.

Después de evaluar las unidades del sistema de lodos activados y verificar su cumplimiento con la Resolución No 0330 del 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”, se concluye que las estructuras cumplen con los parámetros establecidos según su diseño.

Se calculó que la cantidad de lodo que producirá la PTAR Madrid I, pertenece a 2235.3408 kg/día, que después de un proceso de concentración y secado se puede disponer para la aplicación sobre el suelo, uso agrícola, relleno sanitario y lagunas.

El tipo de difusores para los reactores biológicos, es un sistema de aireación de burbuja fina Gama ABS PRK 300, según los cálculos, cada difusor tiene un rango de caudal de aire de diseño de 1,53m<sup>3</sup>/h/difusor, adecuado para la PTAR Madrid I según su esquema.

Según el presupuesto proyectado para la PTAR Madrid I, con un valor inicial de \$21.381.493.545 y un valor final de \$29.263.960.541, en donde se presentaron muchas limitaciones, en el que tuvieron que ser adaptadas constantemente a cambios importantes para que sugiera su construcción.

La PTAR de Madrid-Cundinamarca mediante los 3 métodos según la Resolución No 0330 del 2017 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009” (Aritmético, geométrico y exponencial), se llegó a la conclusión de que coinciden los resultados poblacionales con los datos suministrados por el CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015 que fueron de 114.314 habitantes proyectados al año 2043.

El sistema diseñado para el año 2043 ofrece una remoción del 85%, lo cual nos garantiza el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua establecidos en la resolución 631 de 2015.

## 15. RECOMENDACIONES

El manual de operación y mantenimiento ofrece al operario y a los visitantes de la PTAR una explicación sencilla de cada uno de los procesos realizados y especificaciones técnicas de la secuencia de los procesos, así como las labores y periodicidad del mantenimiento de cada estructura.

Una vez finalizado el proceso de arranque, se deben realizar los respectivos laboratorios fisicoquímicos y microbiológicos de la planta, esto con el fin de conocer la calidad del agua vertida.

Se recomienda realizar capacitaciones al personal que permita conocer el proceso realizado en cada una de las estructuras y el adecuado mantenimiento que se le debe hacer.

Se recomienda que los operarios de la planta de tratamiento utilicen los elementos de protección industrial con el fin de evitar riesgos.

Llevar un control de las labores establecidas en el manual de operación y mantenimiento.

Actualizar el manual de operación y mantenimiento cuando se realicen las mejoras propuestas en este trabajo.

Cuando se plasme otro proyecto constructivo, se recomienda comprar el concreto ya listo para fundir, de no ser así, se deberá tomar medidas para evitar choques térmicos en el concreto.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

**1575, DECRETO. 2007.** POR EL CUAL SE ESTABLECE EL SISTEMA PARA LA PROTECCION Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA . [En línea] 9 de 5 de 2007.

[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_1775\\_2007.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf).

**2015, CONSORCIO AGUA S DE MADRID. 2015.** CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MADRID - CUNDINAMARCA . MADRID : s.n., 2015.

**ARAUJO, ELIZABETH. 1998.** DISEÑO DE UNA UNIDAD DE FLOTACION PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UN RASTRO . DISTRITO FEDERAL : s.n., 1998.

**AYALA, RODRIGO y GONZALES, GREBY. 2008.** APOYO DIDACTICO EN LA SENSEÑANZA- APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE GUAS RESIDUAL. [aut. libro] AYALA RODRIGO. BOLIVIA : s.n., 2008, pág. 63.

**BELEÑO, I. 2010.** EL 50% DE AGUA EN COLOMBIA ES DE MALA CALIDAD . [En línea] 2010. <http://unperiodico.unal.edu.co/dper/article/el-50-del-agua-en-colombia-es-de-mala-calidad.html>.

**BENGTSON, HARLAN. 2017.** BIOLOGICAL WASTEWATER TRATMENT PROCES DESIGN CALCULATIONS. 2017.

**CEPIS/OPS-O, RICARDO ROJAS COORDINADOR DE PROYECTOS ESPECIALES. 2002.** GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES . 2002.

**COMONFORT, BOULEVARD BAHIA S/N ESQ. IGNACIO. 2006.** LODOS RESIDUALES: ESTABILIZACION Y MANEJO . 2006.

**CSU. 2007.** OPERATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS, VOLUME 2 . 2007.

**DESARROLLO, INISTERIO DE. 2000.** SEMINARIO INTERNACIONAL DE LA EVALUACION DE PARTICIPACION PRIVADA EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO EN LATINOAMERICA. 15 de 5 de 2000, pág. 8.

**ECHAVERRY, L. 2014.** EL AGUA, PROBLEMÁTICA DE TODOS . [En línea] 31 de 7 de 2014. <https://www.portafolio.co/opinion/lucas-echeverri/agua-problema-55526>.

**ENRIQUE, VALDEZ. 2003.** INGENIERIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES . DISTRITO FEDERAL : s.n., 2003.

**ENVITECH, CONDORCHEM. 2017.** FILTRACION MEDIANTE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALAES . [En línea] 26 de ABRIL de 2017. <http://blog.condorchem.com/membranas-tratamiento-aguas-residuales/>.

**GÉLVEZ, SANDRA LILIANA PABÓNY JOHN HERMÓGENES SUARÉZ. 2009.** Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuale. 2009.

- GRAY, NF. 1990.** *ACTIVATED SLUDGE: THEORY AND PRACTICE* . 1990.
- KELLY A. REYNOLDS, MSPH, PH.D. 2002.** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LATINOAMERICA IDENTIFICACION DEL PROBLEMA. 2002.
- KERRI, KENEETH D. OPERATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS, VOLUME 1.**
- LATINOAMERICA, GE REPORTS. 2017.** TECNOLOGIAS PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES. [En línea] 16 de MAYO de 2017. <http://www.gereportslatinoamerica.com/post/138740899426/tratar-aguasresiduales>.
- LIZARAZO, JENNY y MARTHA, ORJUELA. 2013.** SISTEMAS DE TRATAMEINT DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA. BOGOTA : s.n., 2013, pág. 82.
- LOPEZ, JULIAN ANDRES VARILA QUIROGA Y FABIO EDUARDO DIAZ. 2008.** REVISTA TECNOLOGICA VOLUMEN 7 No.2 . 2008.
- LOZANO, RIVAS. 2012.** Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales . 2012.
- M, RAFAEL. 1995.** *ANALISIS DE AGUAS ENSAYOS DE TRATAMIENTO: PRINCIPIOS Y APLICACIONES* . ESPAÑA : s.n., 1995.
- MADRID, ALCALDIS LOCAL DE. 2018.** FUNDACION . [En línea] 12 de 4 de 2018. <http://madridcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/>.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. 2017.** *RESOLUCION 0330 REGALAMENTO TECNICO RAS* . BOGOTA : s.n., 2017.
- 2017.** PLANTAS DE TRATAMIENTO. [En línea] ABRIL de 2017. <http://www.axgmembrane.com/wpcontent/uploads/2013/03/Sistema-MBR-AXG.pdf>.
- Q.A, SERA. 2007.** *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL OPERACION DE AGUA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL* . TUNJA : s.n., 2007.
- QASIM, SYED R. 1998.** *WASTEWATER TREATMENT PLANTS PLANNING, DESING AND OPERATION*. 1998.
- R.SPELLMAN, FRANK.** *WATER AND WASTEWATER TREATMENT PLANT OPERATIONS*.
- RIFFAT, RUMANA. 2012.** *FUNDAMENTALS OF WASTEWATER TREATMENT AND ENGINEERING* . 2012.
- ROJAS, ROMERO. 1999.** *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TERORIA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO* . 1999.
- SA, SOLUCIONES MEDIAMIENTALES Y AGUAS. 2017.** QUE ES EL PROCESO DE LODOS ACTIVAOS. [En línea] 25 de 3 de 2017. <http://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>.
- SOLUTIONS, XYLEM WATER. 2017.** DESCRIPCION DEL SISTEMA BIORREACTOR DE MEMBRANAS . [En línea] 27 de 4 de 2017. <<http://www.xylemwatersolutions.com/scs/spain/eses/prensa/Eventos/Eficienciaenergetica/Documents/SISTEMA%20BIOREACTOR%20DE%20MEMBRANAS.pdf>>.
- SUÁREZ, SANDRA LILIANA PABÓN Y JOHN HERM´GENES. 2009.** REVISTA INGENIERIA E INVESTIGACIÓN VOL 29 No.2. 2009.
- SULZER. 2012.** SISTEMA DE AIREACIÓN DE BURBUJA FINA . [En línea] 2012.

**UNICEF. 2003.** EL AGUA RESIDUAL Y EL SANEAMIENTO BASICO EN LOS PANES DE DESARROLLO . [En línea] 2003. <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.

**V TANDOI, S ROSSETTI, J WANNER. 2017.** *ACTIVATED SLUDGE SEPARATION PROBLEMS: THEORY, CONTROL MEASURES, PRACTICAL EXPERIENCES* . 2017.

**WANNER, J. 2014.** *ACTIVATED SLUDGE: BULKING AND FOAMING CONTROL* . 2014.