

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

TATIANA ALEJANDRA REYES GÓMEZ

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2018**

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

TATIANA ALEJANDRA REYES GÓMEZ

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.
2018**



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. 31 de octubre de 2018

DEDICATORIA

A mi madre BETSEY MILENA, que con tanto sacrificio logro que yo llegara a cumplir mi gran sueño de ser ingeniera, a Angelica y a mi tía Leonor que mi brindaron su gran apoyo y compañía, a mi tío Eduardo y a todos los que me brindaron un granito de arena para que yo cumpliera esta gran meta.

Agradecimiento

Mi gratitud a dios por darme la sabiduría que me permitió escalar y culminar mi carrera, a mis padres por apoyarme en este sueño de ser profesional, a los docentes que me guiaron y compartieron su conocimiento para que hoy pueda decir que me graduó como Ingeniera Civil, a mi tutor ING EDGAR OBANDO y al ING. ERNESTO TORRES por su tiempo, dedicación y orientación en este trabajo de grado y a mis familiares que de una u otra forma me apoyaron en el cumplimiento de esta meta, nuevamente gracias totales.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	28
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	29
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	29
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	29
2. OBJETIVOS.....	30
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	30
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	31
3.1 JUSTIFICACIÓN	31
3.2 ANTECEDENTES	31
4. ALCANCE Y LIMITACIONES	36
4.1 ALCANCE.....	36
4.2 LIMITACIONES	36
5. DELIMITACIÓN	37
5.1 Espacio.....	37
5.2 Tiempo.....	37
5.3 Contenido	37
6. MARCO DE REFERENCIA	38
6.1 MARCO TEÓRICO.....	38
6.1.1 Ubicación geográfica.....	38
6.1.2 Límites.....	38
6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	42
6.3 MARCO LEGAL.....	46
7. ESTADO DEL ARTE	48
7.1 Nuevas tecnologías en aguas residuales	48
7.1.1 Filtración por membranas.....	48
7.1.2 Los biorreactores de membrana (MBR)	49
7.1.3 Las células de combustible microbianas	49
7.1.4 Los nuevos desarrollos en los procesos de tratamiento biológico	49
7.1.5 La nanotecnología.....	49
7.1.6 Los sistemas innovadores de monitoreo y control de aguas residuales	50

7.1.7 Los sistemas de tratamiento natural (sistemas de humedales).....	50
8. METODOLOGÍA.....	51
9. ANÁLISIS DE ESTUDIOS Y DISEÑOS.....	53
10. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA PARA EL MUNICIPIO DE MADRID-CUNDINAMARCA	54
10.1 Periodo de diseño	55
10.2 Métodos para la proyección de la población	55
10.2.1 Método Aritmético	55
10.2.2 Método Geométrico.....	55
10.2.3 Método Exponencial.....	56
10.3 Dotación Neta	58
11. Calculo de caudales	59
11.1 Caudal de Infiltración:.....	59
11.2 Caudal Aguas Residuales:	59
11.3 Caudal Medio de Diseño:	59
11.4 Caudal Máximo Horario:.....	60
11.5 Caudal Máximo Diario:	60
11.6 Caudal Máximo Mensual:.....	60
12. DATOS DE PARTIDA.....	62
12.1 PROCESO DE TRATAMIENTO.....	63
12.2 DIAGNOSTICO DE LAS ESTRUCTURAS DE LA PTAR	64
12.2.1 Obra de llegada, pozo de gruesos y bombeo en cabeza.	64
12.2.2 Desbaste	66
12.2.3 Desarenador-Desengrasado	70
12.2.4 Bypass del caudal del tratamiento biológico	74
12.2.5 Medida de Caudal Pretratado.	74
12.2.6 Reactores Biológicos.....	74
.....	79
.....	80
12.2.7 Decantación secundaria.....	80
12.2.8 Desinfección mediante cloro gas.	84
13. CONCLUSIONES	85
14. RECOMENDACIONES.....	86

BIBLIOGRAFÍA.....	87
-------------------	----

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Plano de ubicación de lagunas y Planta de Tratamiento de Agua Residual.....	32
Ilustración 2. Esquema del sistema de tratamiento de aguas servidas	33
Ilustración 3. Plano del sistema de Tratamiento de aguas servidas.	34
Ilustración 4. Entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residual Madrid 1	35
Ilustración 5. Estructura preliminar.	35
Ilustración 6. Ubicación Geográfica de Madrid Cundinamarca en Colombia.	38
Ilustración 7. Mapa de la división Política de Madrid-Cundinamarca.....	39
Ilustración 8. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.....	39
Ilustración 9. Planta de Tratamiento de Agua Residual. Plano General con sus estructuras.	41
Ilustración 10. Esquema general de la metodología utilizada	52
Ilustración 11. Grafica promedio de la población Madrid - Cundinamarca.....	58
Ilustración 12. Pozo de gruesos.....	65
Ilustración 13. Hueco con reja de gruesos de 100 mm luz	65
Ilustración 14. Pozo de gruesos y cuchara bivalva	66
Ilustración 15. Canales de desbaste	67
Ilustración 16. Canales de desbaste	67
Ilustración 17. Desarenador - Desengrasado	71
Ilustración 18. Desarenador-Desengrasado y Canaleta Parshall	71
Ilustración 19. Resumen de datos para el diseño de desarenador-desengrasado	72
Ilustración 20. Parámetros de funcionamiento desarenador-desengrasado.....	72
Ilustración 21. 3 reactores Biológicos	75
Ilustración 22. Reactores Biológicos.....	75
Ilustración 23. Decantadores	81
Ilustración 24. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid-Cundinamarca.....	81
Ilustración 25. Parámetros de funcionamiento del decantador	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020 DANE.....	54
Tabla 2. Promedio de la población Madrid-Cundinamarca	56
Tabla 3. Dotación Neta Máxima.....	58
Tabla 4. Dotación Neta	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5. Caudales.....	61
Tabla 6. Resumen de laboratorios empleados para el diseño de la PTAR-Madrid	62
Tabla 7. Resumen de valores empleados para el diseño de la PTAR-Madrid...	62
Tabla 8. Proceso unitario por estructura.....	64
Tabla 9. Resumen de datos para el diseño de los canales de desbaste	68
Tabla 10. Resumen de resultados para el diseño de los canales de desbaste .	70
Tabla 11. Resumen de resultados para el diseño de desarenador-desengrasado	74
Tabla 12. Parámetros de funcionamiento reactor biológico	76
Tabla 13. Difusores Reactor biológico	79
Tabla 14. Dimensiones de cada Reactor biológico.....	79
Tabla 15. Área y volumen de cada Reactor biológico.....	79
Tabla 16. Resumen de resultados para el diseño de cada Reactor biológico	80
Tabla 17. Resumen de resultados para el diseño de cada Decantador	83

INTRODUCCIÓN

Madrid Cuenta con aproximadamente 121 km² 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.º 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 agosto-2018. Para continuar con el plan de precomisionamiento el cual comprende la certificación de las pruebas y chequeos de los equipos establecidos antes de energizar el proyecto; luego sigue el plan de comisionamiento donde se inicia la aceptación de entrega por el modo de precomisionamiento y se comprende la realización de pruebas de funcionamiento general, bajo las condiciones simuladas, pruebas de pre-arranque y las pruebas operacionales con agua cruda y potable, para así entrar a la fase final de la puesta en marcha del proyecto en el siguiente año, según lo planeado por la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015.

Palabras clave: efluente, lodos activados de baja carga, reactor anaerobio de flujo ascendente.

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 ¹, 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 del próximo 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?

¹ 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.

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.²

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 92% 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

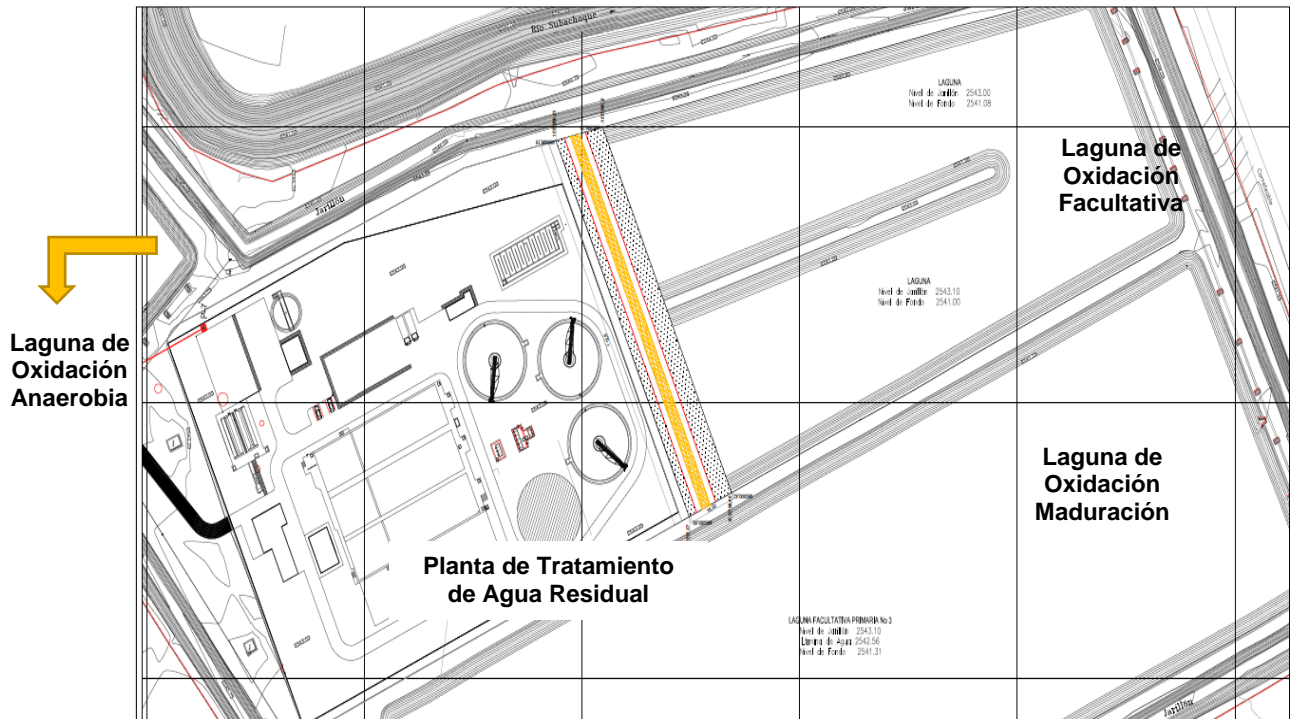
La zona donde se encuentra situada la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de Madrid I Cundinamarca, es un terreno de pendiente suave, en el que existía un sistema de tratamiento de las aguas servidas utilizando la tecnología de lagunas de oxidación (MADRID, 2018).

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.³

² 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.

³ 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.

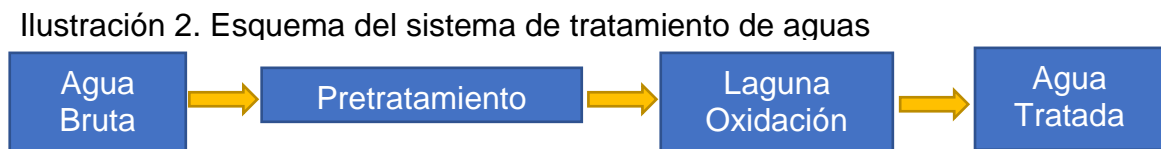
Este proyecto se realizó con el propósito de hacer seguimiento a los diferentes estudios y diseños que se adelantaron durante el desarrollo del proyecto PTAR Madrid 1. Se revisaron y analizaron los planos de las estructuras que componen cada uno de los procesos y las condiciones en las que va a operar la planta una vez puesta en funcionamiento. Se observaron los resultados que se obtuvieron referentes a sólidos suspendidos totales SST, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y 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).⁴

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

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

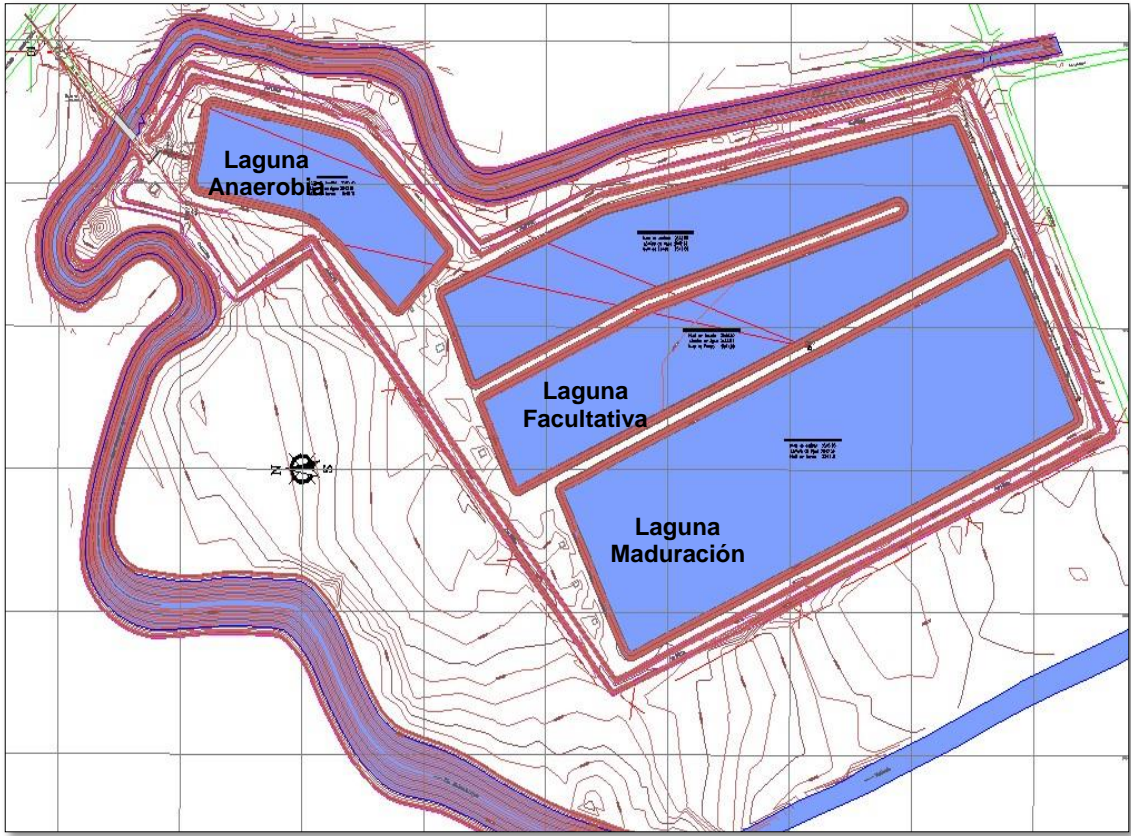
El Tratamiento de Agua Residual en el municipio de Madrid Cundinamarca, se inició bajo el diseño de un tratamiento de aguas servidas con una estructura de filtrado de material grueso por rejillas, un desarenador y una decantación que utiliza tres lagunas de oxidación, donde su mecanismo era retener el 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 domiciliar⁵, como se indica en el siguiente esquema e ilustración 2.



Fuente: Autor

⁵ 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 Residual



Fuente: Autor.

Ilustración 5. Estructura preliminar.



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

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 PTAR 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

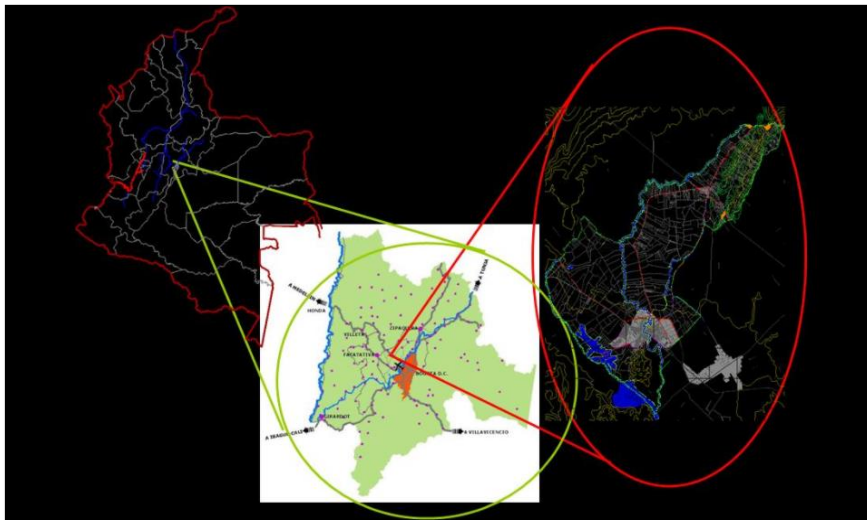
El Municipio de Madrid se encuentra ubicado en la Provincia de la Sabana Occidente, a 17 km de Bogotá. Geográficamente se ubica en 04° 43' 58" latitud norte y 74° 16' 02" longitud oeste.

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 Km², extensión área urbana de 7.5 Km², extensión área rural 113 Km², La altitud en la cabecera municipal es de 2.554 msnm, su temperatura es de 14 °C. ⁶

Ilustración 6. Ubicación Geográfica de Madrid Cundinamarca en Colombia.



Fuente: Alcaldía Local Madrid Cundinamarca.

⁶ ALCALDÍA LOCAL DE MADRID

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.⁷

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.

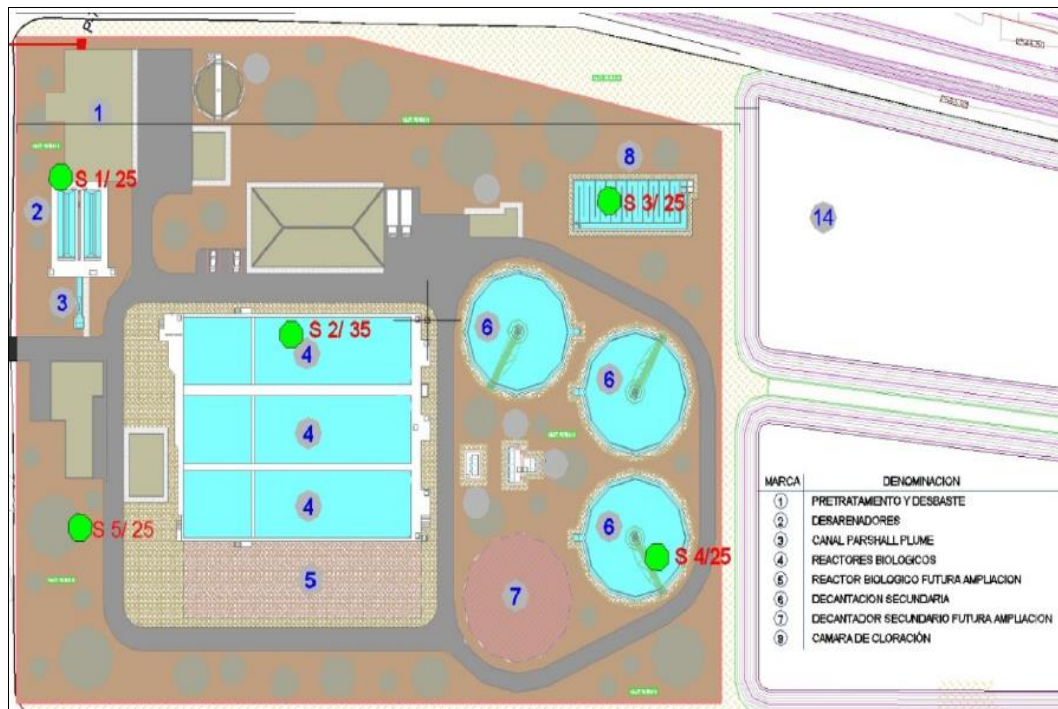
Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos de mayor tamaño de la corriente de aguas domésticas empleando un sistema de rejillas, posteriormente se conducen a un desarenador donde se realiza la separación de los sólidos más pequeños como la arena, 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 9 se puede observar las estructuras que componen una PTAR señalando cada proceso y se describen la importancia de cada una.

⁷ CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015. Memoria proyecto Madrid

Ilustración 9. Planta de Tratamiento de Agua Residual. Plano General con sus estructuras.



Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

- 1) **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.
- 2) **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.
- 3) **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.

- 4) **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.

- 5) **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.

- 6) **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.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

GyA: Grasas y Aceites. Medido en partes por millón (ppm) o Miligramos por litro (mg/l).

SST: Sólidos 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.

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: Sólidos Disueltos Totales. Sólidos de una clase tal que su composición molecular se ha convertido en parte de la molécula de H₂O, como las sales.⁸

⁸ 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

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.⁹

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 procesos de tratamiento. Entre los procesos preliminares que pueden emplearse, se tienen: desarenadores, presedimentadores con o sin aplicación de químicos, pre filtros y micro tamices.

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 pre tratamientos 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.

⁹ 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.

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.

Floculación:

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.¹⁰
- 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.

¹⁰ Constitución política de Colombia

- 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.
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000, fija los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, así como la supervisión técnica, interventoría, operación y mantenimiento propios de estos sistemas.
- 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 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, 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.¹¹

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 común para el tratamiento terciario o avanzado, especialmente en los países

¹¹ World Water Development Report 2017

desarrollados. Además, a medida que las membranas continúan mejorando y los costos operacionales disminuyen ¹².

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 compacidad, flexibilidad y capacidad de operar de una manera totalmente fiable bajo control remoto ¹³.

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 agua y el monitoreo de aguas residuales. En la actualidad, las aplicaciones de la

filtración por membrana, Luisa Colina Irezaba, disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion_por_membrana.pdf

¹³ REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA, diciembre 2011, *Alejandra Velasco Pérez y Rocío Solar González*

nanotecnología en el tratamiento del agua y las aguas residuales se centran en la tecnología de maduración y demostración a gran escala ¹⁴.

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.

¹⁴ Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, Chávez-Lizárraga Georgina Aurelia

8. METODOLOGÍA

Este proyecto se realizó 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 5 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 solicitó 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 mirar 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 revisaron 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 analizó y se verificó el comportamiento hidráulico elaborado por a la empresa constructora CONSORCIO AGUAS DE MADRID 2015.

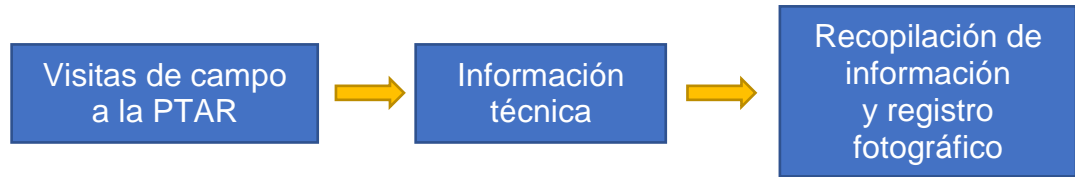
La cuarta etapa, se identificó la cantidad de lodo que producirá la planta para establecer que alternativas sirven para su aprovechamiento.

La quinta etapa y ultima, se hizo el análisis de información de resultados definiendo actividades y responsables.

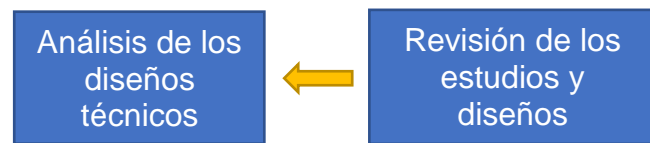
Posteriormente se hizo un informe técnico donde se registra fotografías del estado de la planta y la comparación de la contaminación con la que llega el recurso hídrico a la planta y con la que sale.

Ilustración 10. Esquema general de la metodología

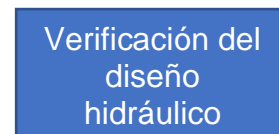
1. ETAPA INICIAL. Objetivo específico No.1



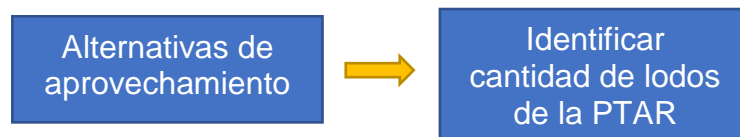
2. ETAPA. Objetivo específico No.2



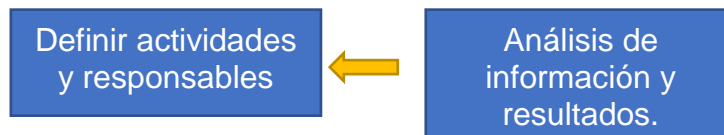
3. ETAPA. Objetivo específico No.3



4. ETAPA. Objetivo específico No.4



5. ETAPA FINAL. Objetivo específico No.5



Fuente: Autor

9. ANÁLISIS DE ESTUDIOS Y DISEÑOS

El proyecto se ha desarrollado en base a los siguientes criterios:

- Distribución de todos los elementos de la planta, atendiendo a la secuencia lógica del proceso, a las características topográficas y geotécnicas del terreno y a la facilidad de explotación.
- Modulación que permite seleccionar las líneas de tratamiento necesarias para hacer frente a posibles fluctuaciones estacionales de contaminación.
- Dotación de los elementos de reserva necesarios y homogeneidad entre las diversas unidades, a fin de posibilitar su intercambiabilidad y facilitar las operaciones de mantenimiento y explotación.
- Consideración de todas las medidas de seguridad personal y de las instalaciones, en cumplimiento de las vigentes normas en cuanto a Seguridad y Salud en el Trabajo.

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. Para estimar la población se realizó la proyección de población con base en datos suministrados por el DANE. También se utilizaron los métodos aritméticos, geométrico y/o exponencial según lo especificado en el “Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000”.

Dado que la estimación de la población es uno de los aspectos para la definición del nivel de complejidad, determinado según el RAS 2000, se establece que esa población debe corresponder a la proyectada al final del periodo de diseño, llamado también horizonte de planeamiento del proyecto. Por lo tanto, a continuación, se presentan las proyecciones realizadas:

Para realizar estas proyecciones se recolectaron los datos demográficos del municipio, en especial la de los censos de población del DANE. A continuación, se presenta la información del DANE referente a las proyecciones de población municipal de 2005 a 2020, ver la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Proyecciones de Población Municipal 2005-2020 DANE

Año	Poblacion
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

Para la proyección de la población, se utilizó el procedimiento señalado en el numeral B.2.2 del RAS 2000. El cual establece los métodos de proyección que se deben utilizar dependiendo del nivel de complejidad del sistema.

10.1 Periodo de diseño

De acuerdo con el Artículo 2 de la Resolución 2320 de noviembre de 2009, que modifica algunos aspectos a la Resolución 1096 de 17 de noviembre de 2000, por la cual se adoptó el RAS 2000, se establece que, para efectos de este estudio se adopta un periodo de diseño de 25 años, es decir, comprendido entre los años 2018 a 2043.

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:

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

Donde:

Pf Población (habitantes) correspondiente al año de proyección

Puc Población (habitantes) correspondiente al último año censado con información.

Pci Población (habitantes) 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.

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:

$$P_f = P_{cu} * (1 + r)^{T_f - T_{cu}}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{1/(T_{uc}-T_{ci})} - 1$$

10.2.3 Método Exponencial

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

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

Donde k es la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como promedio de las tasas calculadas para cada par de censos así:

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

- 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 o neperiano

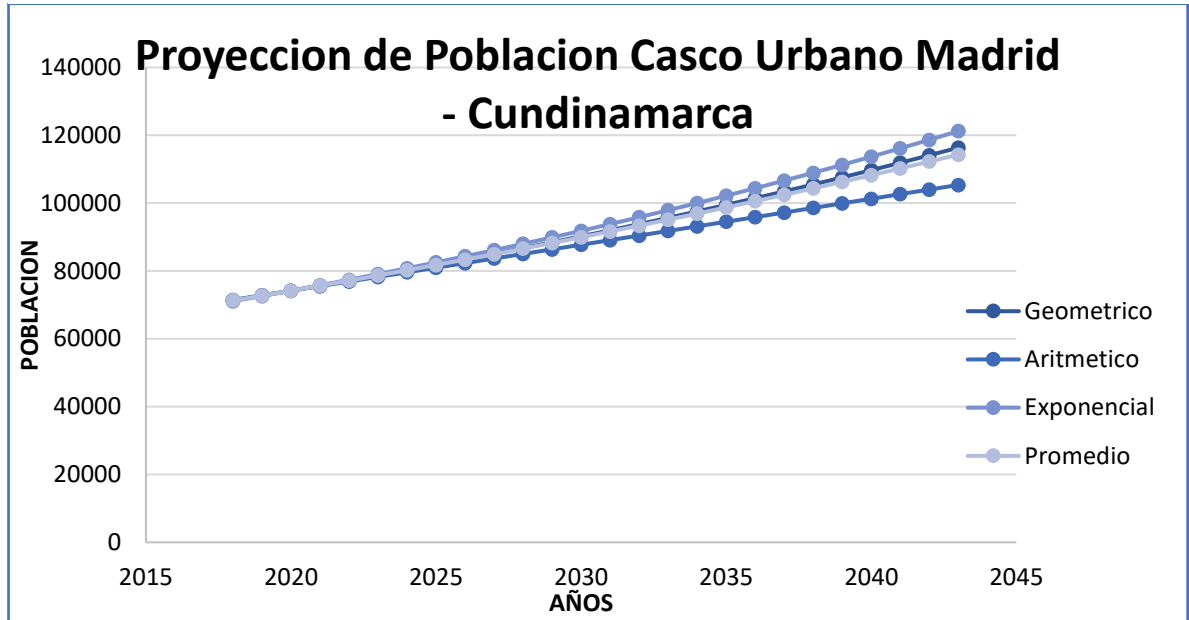
Siguiendo los lineamientos indicados anteriormente, se procede a calcular la población del casco urbano del municipio con las proyecciones del DANE para cada uno de los métodos utilizados, que se revelan en la siguiente Tabla 2:

Tabla 2. Promedio de la población Madrid-Cundinamarca

PROMEDIO POBLACION MADRID CUNDINAMRACA				
Años	Método Geometrico	Método Aritmetico	Método Exponencial	Promedio
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: Autores

Ilustración 11. Grafica promedio de la población Madrid - Cundinamarca



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.

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 0330-2018.

Tabla 3. Dotación Neta Máxima

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

Fuente: Resolución 0330-2017. Tabla 1. 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. El caudal de aguas residuales domesticas se calcula por medio de la siguiente ecuación, donde se emplea un coeficiente de retorno de 0.85 (Resolución 0330-2017, Art 134. Caudal de Aguas Residuales) y una dotación neta de 120 L/hab*día (Resolución 0330-2017. Tabla 1. Dotación Neta Máxima por Habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida).

11.1 Caudal de Infiltración:

Resolución 0330-2017, Art 134. Caudal de Aguas Residuales, ítem 6 para el caudal de infiltración se debe utilizar un factor entre 0.1 y 0.3 L/s.Ha. Se toma el factor 01 l/s.Ha, según características topográficas del suelo.

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

$$Q_I = 0.1 \frac{l}{s * Ha} * 267.47 Ha$$

$$Q_I = 26.747 \frac{l}{s}$$

11.2 Caudal Aguas Residuales:

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

$$Q_D = \frac{0.85 * 114314 Hab * 120 \frac{L}{Hab * dia}}{86400}$$

$$Q_D = 134.95 \frac{l}{s}$$

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:

En este caso se toma $K1=2.2$

$$QMH = QMD * FM \text{ Max H}$$

$$QMH = 161.70 \frac{L}{S} * 2.2$$

$$QMH = 355.74 \frac{L}{S}$$

11.5 Caudal Máximo Diario:

En este caso se toma $K2=1.7$

$$QMD = QMD * FM \text{ Max D}$$

$$QMD = 161.70 \frac{L}{S} * 1.7$$

$$QMD = 274.89 \frac{L}{S}$$

11.6 Caudal Máximo Mensual:

En este caso se toma $K2=1.3$

$$QMM = QMD * FM \text{ Max D}$$

$$QMM = 161.70 \frac{L}{S} * 1.3$$

$$QMM = 210.21 \frac{L}{S}$$

Tabla 4. Caudales

AÑO PROYECCION	PROYECCION URBANA	Q INFILTRACION	Q DE AGUAS RESIDUALES	Q MEDIO DE DISEÑO	Q MAXIMO HORARIO	Q MAXIMO DIARIO	Q MAXIMO MENSUAL
Años	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 informes de laboratorio 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 6:

Tabla 5. 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
		Actual (2018)	Etapa 1 (2025)	Etapa 2 (2043)

Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

Tabla 6. Resumen de valores empleados para el diseño de la PTAR-Madrid

Población				
Poblacion	Hab.	71301	81772	114314
Caudales				
Caudal infiltracion	l/s	27	27	27
Caudal aguas residuales	l/s	84.180	96.540	134.950
Caudal medio diseño	l/s	110.920	123.280	161.700
Caudal máximo horario	l/s	166.380	184.930	242.550
Caudal máximo diario	l/s	144.200	160.270	210.210
Caudal maximo mensual	l/s	122.010	135.610	177.870
Factor punta	adimensional	1.7	1.7	1.7
Caudal punta	l/s	166.380	184.93	242.55
		Actual (2018)	Etapa 1 (2025)	Etapa 2 (2043)

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 obtenidos del efluente 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 el siguiente cuadro se relacionan las operaciones unitarias de la PTAR de Madrid I y el número de unidades a implementar en cada etapa de tratamiento:

Tabla 7. Proceso unitario por estructura

PROCESO UNITARIO	TIPO ESTRUCTURA	ETAPA 1	ETAPA 2
		AÑO 2025	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 tubulares	3 unidades, capacidad hasta el año 2025	1 unidad, capacidad complementaria hasta el año 2043
Sedimentadores	Circular en concreto	3 unidades, capacidad hasta el año 2025	1 unidad, capacidad complementaria hasta el año 2043
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 y bombeo en cabeza.

Se proyectó un pozo de gruesos de 19,67 m³ de volumen útil. Dotado de cuchara bivalva de 250 litros para la extracción de arenas. Se comunica con el bombeo en cabeza de la instalación mediante hueco protegido con reja de muy gruesos de 100 mm de luz.

El pozo de bombeo está diseñado para elevar la totalidad del agua residual de entrada hasta una cota suficiente para realizar el resto del proceso de tratamiento del agua por gravedad. En el que se situó 4 bombas centrífugas sumergibles de 341 m³/h. Hay espacio para colocar una quinta bomba en el futuro y otra bomba para impulsión de caudales en exceso en la entrada.

Ilustración 12. Pozo de gruesos



Fuente: Autor

Ilustración 13. Hueco con reja de gruesos de 100 mm luz



Fuente: Autor

Ilustración 14. 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 rejas 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 rejas de gruesos y un tornillo transportador-compactador para los tamices de finos, con un contenedor metálico de 3 m³ de capacidad por cada tornillo-transportador.

Ilustración 15. Canales de desbaste



Fuente: Autor

Ilustración 16. Canales de desbaste



Fuente: Autor

Tabla 8. Resumen de datos para el diseño de los canales de desbaste

Bc= Ancho canal (m)	0.5
L= Luz o espacio entre barrotes (m), gruesos	0.05
b= Ancho de los barrotes (m), gruesos	0.025
G=Grado de colmatación (30)%	0.3
Caudal m³/s	0.1617
Velocidad para entre rejilla (m/s)	0.6

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 (m²)

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 (30%)

$$AR = 0.5m * \frac{0.05m}{0.05m + 0.025m} * \left(1 - \frac{0.3}{100} \right)$$

AR= 0.332 m². Área para cada canal de desbaste

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 (m³/s)

Vp: Velocidad pasa entre rejilla (m/s)

Velocidad máx. 0.6 m/s para un medio de diseño

$$P = 0.1617\text{m}^3/\text{s} * \frac{0.025\text{m}+0.05\text{m}}{\left(1-\frac{0.3}{100}\right) * 0.6\text{m}/\text{s} * 0.05 * 0.5}$$

P=0.811 m. Ancho o profundidad de cada rejilla

3. Perdida de carga generada por la rejilla

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

ΔH : Perdida de carga generada por rejilla (m)

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

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

ΔH = 0.040 m. Perdida de carga generada por cada rejilla

4. Numero 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)

$$N = \frac{0.5\text{m}-0.05\text{m}}{0.025\text{m}+0.05\text{m}}$$

N= 6. Numero de barrotes por canal

Tabla 9. Resumen de resultados para el diseño de los canales de desbaste

Área útil del canal en la zona de la rejilla	0.332
Ancho o profundidad Rejilla (m)	0.811
Pérdida de carga generada por la rejilla (m)	0.040
Numero de Barrotes	6

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 m³/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./m³ 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 de los desarenadores desengrasadores para labores de mantenimiento.

Ilustración 17. Desarenador - Desengrasado



Fuente: Autor

Ilustración 18. Desarenador-Desengrasado y Canaleta Parshall



Fuente: Autor

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

Materia Organiza extraida	3 y el 5%
Carga Superficial del (Caudal Punta) (m3/m2*h)	10.25
Tiempo de retencion hidraulica del (Caudal medio) (min) TRH	24.15
Velocidad de sedimentacion del (Caudal medio) (m/s)	0.008
Longitud (m)	12
Altura (m)	2
Caudal tratado (m3/s)	0.1617
Suministro de aire m3/h*m3 tanque	1.5
Profundidad difusores (m)	0.5
Caudal punta (m3/s)	0.243

Fuente: Autor

Ilustración 20. Parámetros de funcionamiento desarenador-desengrasado

Situación	CAUDAL	Nº de unid. en servicio	Velocidad transversal (m/s)	Carga hidráulica	Tiempo retención
				(m ³ /h/m ²)	(min)
Año 2025	medio	2	0,007	8,88	27,89
Año 2043	medio	2	0,008	10,25	24,15

Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

1. Volumen requerido para 2 desarenadores

$$V = Q * THR = 0.1617 \frac{m^3}{s} * 24.15 \text{ min} * \frac{60 s}{1 \text{ min}} = 234.30 \text{ m}^3$$

2. Área superficial

$$As = \frac{Qp}{Cs} = \frac{0.243 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1 h}}{10.25 \text{ m/h}} = 85.35 \text{ m}^2$$

3. Área transversal

$$AT = \frac{Qp}{Vh} = \frac{0.243 \frac{m^3}{s}}{0.008 \text{ m/s}} = 30.38 \text{ m}^2$$

4. Longitud del canal

$$L = \frac{V}{AT} = \frac{234.30 \text{ m}^3}{30.38 \text{ m}^2} = 7.71 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$$

5. Profundidad del canal

$$P = \frac{V}{As} = \frac{234.30 \text{ m}^3}{85.35 \text{ m}^2} = 2.75 \text{ m}$$

6. El ancho de la unidad desarenador

$$B = \frac{V}{P*L} = \frac{234,30 \text{ m}^3}{2.75\text{m} * 7.71 \text{ m}} = 11.06 \text{ m}$$

7. Ancho total unidad = Adicional 1/3

$$BT = B * \left(\frac{B}{3}\right) = 11.06 * \left(\frac{11.06}{3}\right) = 14.75 \text{ m}$$

8. Suministro de aire

$$\text{Aire} = \text{Suministro} * V = 1.5 \frac{m^3 \text{ aire}}{h * m^3} * 234.30 \text{ m}^3 = 351.455 \text{ m}^3/h$$

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

Volumen requerido (m3)	234.30
Area superficial (m2)	85.35
Area transversal (m2)	30.38
Longitud de canal (m)	7.71
Profundidad de canal (m)	2.75
Ancho de la unidad del desarenador (m)	11.06
Ancho total unidad (m)	14.75
Suministro de aire (m3/h)	351.455

Fuente: Autor

12.2.4 Bypass del 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.

12.2.5 Medida de Caudal Pretratado.

Proyectamos 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)

12.2.6 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 m³ y constará de 4 líneas con un volumen unitario de 3.075 m³/línea. En la primera fase se construirá únicamente tres reactores. (2015, 2015)

Ilustración 21. 3 reactores Biológicos



Fuente: Autor

Ilustración 22. Reactores Biológicos



Fuente: Autor

Tabla 11. Parámetros de funcionamiento reactor biológico

Efluente DBO (mg/l)	50
Afluente DBO (mg/l)	200
Caudal (m³/s)	0.164
y (mg/SSO/mgDBO)	0.65
x (g/m³)	864
Kd dias-1	0.05
Oc (dias)	10
Concentracion SSLM (mg/l)	2500
% total de solidos	0.8
Concentracion de solidos totales del lodos sedimentado (mg/l)	15000
Volumen total (m³)	12300
Volumen unitario (m³)	3075
Eficiencia	0.08
Caudal de cada difusor (m³/h)	9

Fuente: Consorcio Aguas de Madrid

1. DBO soluble

$$S_e = 50 \text{ mg/l} - 0.63 * 40 \text{ mg/l}$$

$$S_e = 24.8 \text{ mg/l}$$

2. Biomasa en el reactor

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

$$X_v = \frac{10 \text{ dias} - 0.55 * (0.054 * 86400) \text{ m}^3 / \text{dia} * (200 - 24.8) \text{ g} / \text{m}^3}{1 + 0.005 \text{ dias}^{-1} * 10 \text{ dias}}$$

$$X_v = 3.54 \times 10^6 \text{ g ssv} \rightarrow 3.54 \times 10^3 \text{ kg ssv}$$

3. Volumen para cada reactor

$$V = \frac{3.54 \times 10^6}{x} = \frac{3.54 \times 10^6}{864 \text{ g} / \text{m}^3} = 4097 \text{ m}^3$$

4. Producción de lodos

$$P_x = \frac{xv}{\theta_c} = \frac{xv 864 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 4097 \text{ m}^3}{10 \text{ dias}} = 353980 \text{ g/día} \rightarrow 353.98 \text{ kg ssv/día}$$

5. Producción sólidos totales de desecho

$$\text{Lodo seco} = \frac{353.98 \text{ kg ssv/día}}{0.8} = 442.475 \text{ kg/día}$$

6. Caudal de lodos de desecho

$$Q_w = \frac{Qx}{XR - X} = \frac{0.054 \text{ m}^3 / \text{s} * 864 \text{ g} / \text{m}^3}{(0.8 \times 15000) - 864 \text{ g} / \text{m}^3} = 0.00418 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$0.00418 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ día}} = 361.15 \text{ m}^3 / \text{día}$$

7. Recirculación

$$\frac{Q_R}{Q} = \frac{361.15 \text{ m}^3 / \text{día}}{0.054 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86400 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \approx 7.74 \%$$

8. Tiempo de relación hidráulica

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{4097}{0.054 * 86400 \frac{m^3}{dia}} = 0.878 \text{ días}$$

9. DO

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

$$DO = (1.5 * 0.054 * 86400 (200 - 24.58) - 1.42 (0.2 - 15000) * 29.49 m^3 / dia) / 1000$$

$$DO = 1854.22 \text{ KGO}_2 / \text{dia}$$

Caudal aire:

$$Q_{aire} = \frac{DO}{0.232(1.2)} = \frac{1854.22 \text{ KGO}_2 / \text{dia}}{0.232(1.2) \text{ kg/m}^3} = 7992.32 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Eficiencia del 8%:

$$Q_{aire} = \frac{7992.32}{0.08} = 99.900 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

10. Volumen aire por unidad de DBO

$$\frac{Q_{aire}}{DBO} = \frac{99.900 m^3 / \text{dia} * 1000 g / \text{kg}}{200 g / m^3 * 0.054 * 86400 m^3 / \text{dia}} = 107.06 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

11. COV

$$\frac{QSo}{VX} = \frac{(0.054 * 86400) m^3 / \text{dia} * 200 g / m^3}{4097 m^3} = 227.75 \text{ gDBO} / m^3 / \text{dia}$$

12. $\frac{A}{M}$

$$\frac{QSo}{VX} = \frac{(0.054 * 86400) m^3 / \text{dia} * 200 g / m^3}{4097 m^3 * 864 g / m^3} = 0.26 \text{ dias}^{-1}$$

$$13. \epsilon = \frac{S_o - S}{S_o} = \frac{200 - 40}{200} = 0.8 \rightarrow 80\%$$

$$14. \text{DBO Soluble} = \frac{200 - 24.8}{200} = 0.88 \rightarrow 88\%$$

$$Q_{aire} = 15631 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q \text{ cada difusor} = 11 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$7992.32 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 333 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{Q_{aire}}{Q_{c/difusor}} = \frac{4162.5}{11} = 378 \text{ difusores}$$

$$99900 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 4162.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabla 12. Difusores Reactor biológico

Numero de Difusores	
	378.409
	1080 Total

Fuente: Autor

Tabla 13. Dimensiones de cada Reactor biológico

Dimensiones	
Logitud (m)	31.68
Ancho (m)	12.3
Alto (m)	5.5

Fuente: Autor

Tabla 14. Área y volumen de cada Reactor biológico

Seccion Cuadrada	
Area (m2)	389.664
Volumen (m3)	2143.15

Fuente: Autor

Tabla 15. Resumen de resultados para el diseño de cada Reactor biológico

DBO Soluble (mg/l)	24.8
Biomasa en el reactor (gSSV)	3542123.5
Volumen de cada reactor (m³)	4099.68
Producción de lodos (kg/SSV/día)	354.212
Producción de lodos totales de desecho (lodo seco) (kg/día)	442.77
Caudal de lodos de desecho (m³/día)	29.518
Caudal de recirculación (m³/día)	361.99
Recirculación (%)	7.7586
Tiempo de relación hidráulica (días)	0.88
DO (kgO₂/día)	1854.81
Caudal aire (m³/día)	6662.40
Caudal aire con eficiencia 8% (m³/día)	83280.04
Volumen aire por unidad de DBO (m³/kg)	89.249
COV (DBO/m³/día)	227.61
A/M (días⁻¹)	0.263
E (%)	80
DBO Soluble (%)	85.2

Fuente: Autor

12.2.7 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 20 m y un calado en la vertical del vertedero de 3,2 m. (2015, 2015)

Ilustración 23. Decantadores



Fuente: Autor

Ilustración 24. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid-Cundinamarca



Fuente: Autor

Ilustración 25. Parámetros de funcionamiento del decantador

Tiempo de retención hidráulico TRH (horas)	2
Carga superficial (m/h)	2
Capacidad de tratamiento de cada unidad (m ³ /s)	25
Carga sobre el vertedero (m ³ /h*m)	40
Profundidad (vertedero de salida) (m)	3.2
Pendiente de fondo (%)	8
Relación diámetro altura	16
Diámetro de la campana deflectora (%)	20
Velocidad max (%)	
Características de la poceta (m/h)	120
Caudal punta (m ³ /s)	0.243

Fuente: Consorcio Aguas de Madrid 2015

1. Volumen de cada decantador

$$V = Q_p * THR = 0.2425 \frac{m^3}{s} * 2h * \frac{3600 s}{1 h} = 1746.36 m^3$$

2. Área superficial

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s} = \frac{0.2425 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1 h}}{2 m/h} = 436.59 m^2$$

3. Altura unidad

$$P = \frac{V}{A_s} = \frac{1746.36 m^3}{436.59 m^2} = 3.65 m \approx 4 m$$

4. Diámetro del tanque

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \therefore D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 436.59 \text{ m}^2}{\pi}} = 23.58 \text{ m} \approx 24 \text{ m}$$

5. Perímetro

$$\pi * D = \pi * 23.58 \text{ m} = 74.05 \text{ m}$$

6. Carga sobre vertedero

$$\frac{Qp}{\text{Perímetro}} = \frac{0.2425 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}{74.05 \text{ m}}$$

$$\text{Carga sobre vertedero} = 11.79 \frac{\text{m}^3}{\text{h} * \text{m}}$$

Tabla 16. Resumen de resultados para el diseño de cada Decantador

Volumen de cada decantador (m3)	1746.36
Area superficial (m2)	436.59
Altura unidad (m)	4
Diametro del tanque (m)	23.58316
Perímetro (m)	74.05
Carga sobre vertedero (m3/h*m)	11.79

Fuente: Autor

12.2.8 Desinfección mediante cloro gas.

Se proyecta 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 diseñó una cámara de contacto con un volumen de 260 m³.

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.

13. CONCLUSIONES

La conceptualización del proyecto permitió identificar que la PTAR Madrid I, recién construida, posee unas especificaciones técnicas de funcionamiento y mantenimiento acordes con su objetivo, para ello la planta fue diseñada con componentes tales que permitían realizar un pretratamiento, el tratamiento secundario y el tratamiento biológico, todo ello para tratar por máximo 164 l/s.

Las estructuras de la planta de agua residual se encuentran en buen estado estructural, ya que su construcción es reciente. Sin embargo, aún no están en funcionamiento ya que se encuentra en pruebas hidrostáticas y de estanqueidad, la planta de tratamiento de Madrid-Cundinamarca tuvo un avance tecnológico que brindara al municipio mejores condiciones en el tratamiento del agua.

La PTAR de Madrid-Cundinamarca mediante los 3 métodos de la RAS 2000 y resolución 2320 del año 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 diagnóstico realizado a la PTAR Madrid I, del municipio de Madrid-Cundinamarca, permitió determinar que este cumple con los parámetros establecidos para realizar vertimientos en la fuente receptora SUBACHOQUE, para disminuir la contaminación al río Bogotá.

Después de evaluar las unidades del sistema de lodos activados y verificar su cumplimiento con la reglamentación RAS 2000, se concluye que las estructuras cumplen con los parámetros establecidos.

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.

14. 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.

BIBLIOGRAFÍA

- 1575, D. (9 de 5 de 2007). *POR EL CUAL SE ESTABLECE EL SISTEMA PARA LA PROTECCION Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA* . Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf
- 2015, C. A. (2015). *CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MADRID - CUNDINAMARCA* . MADRID .
- ARAUJO, E. (1998). *DISEÑO DE UNA UNIDAD DE FLOTACION PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UN RASTRO* . DISTRITO FEDERAL .
- AYALA, R., & GONZALES, G. (2008). APOYO DIDACTICO EN LA SENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE GUAS RESIDUAL. En A. RODRIGO. BOLIVIA .
- BELEÑO, I. (2010). *EL 50% DE AGUA EN COLOMBIA ES DE MALA CALIDAD* . Obtenido de <http://unperiodico.unal.edu.co/dper/article/el-50-del-agua-en-colombia-es-de-mala-calidad.html>
- DESARROLLO, I. D. (15 de 5 de 2000). SEMINARIO INTERNACIONAL DE LA EVALUACION DE PARTICIPACION PRIVADA EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO EN LATINOAMERICA. pág. 8.
- ECHAVERRY, L. (31 de 7 de 2014). *EL AGUA, PROBLEMATO;ICA DE TODOS* . Obtenido de <https://www.portafolio.co/opinion/lucas-echeverri/agua-problema-55526>
- ENRIQUE, V. (2003). *INGENIERIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES* . DISTRITO FEDERAL .
- ENVITECH, C. (26 de ABRIL de 2017). *FILTRACION MEDIANTE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALAES* . Obtenido de <http://blog.condorchem.com/membranas-tratamiento-aguas-residuales/>
- LATINOAMERICA, G. R. (16 de MAYO de 2017). *TECNOLOGIAS PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <http://www.gereportslatinoamerica.com/post/138740899426/tratar-aguasresiduales>
- LIZARAZO, J., & MARTHA, O. (2013). *SISTEMAS DE TRATAMEINT DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA*. BOGOTA.
- M, R. (1995). *ANALISIS DE AGUAS ENSAYOS DE TRATAMIENTO: PRINCIPIOS Y APLICACIONES* . ESPAÑA.
- MADRID, A. L. (12 de 4 de 2018). *FUNDACION* . Obtenido de <http://madridcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/>
- MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. (2017). *RESOLUCION 0330 REGALAMENTO TECNICO RAS* . BOGOTA.
- PLANTAS DE TRATAMIENTO*. (ABRIL de 2017). Obtenido de <http://www.axgmembrane.com/wpcontent/uploads/2013/03/Sistema-MBR-AXG.pdf>
- Q.A, S. (2007). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL OPERACION DE AGUA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL* . TUNJA .

- ROJAS, R. (1999). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TERORIA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO* .
- SA, S. M. (25 de 3 de 2017). *QUE ES EL PROCESO DE LODOS ACTIVAOS*.
Obtenido de <http://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>
- SOLUTIONS, X. (27 de 4 de 2017). *DESCRIPCION DEL SISTEMA BIORREACTOR DE MEMBRANAS* . Obtenido de <
<http://www.xylemwatersolutions.com/scs/spain/eses/prensa/Eventos/Eficienciaenergetica/Documents/SISTEMA%20BIOREACTOR%20DE%20MEMBRANAS.pdf>>
- UNICEF. (2003). *EL AGUA RESIDUAL Y EL SANEAMIENTO BASICO EN LOS PANES DE DESARROLLO* . Obtenido de
<https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>