



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
INGENIERÍA EN ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL
SEDE SANTIAGO BELLAVISTA**

PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE GACITÚA

Proyecto de título para optar al título de Ingeniero en Energía y Sustentabilidad
Ambiental

Estudiante: Nicolás Gallardo Sauri

Profesor Guía: Dr. Ariel Valdés Barrera

Profesor Co-guía: Dr. Marcelo Aybar Lagos

Santiago de Chile

Marzo de 2023

© Nicolás Gallardo Sauri. Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra en cualquier forma, medio o procedimiento sin permiso por escrito del o los autores.

CALIFICACIÓN DE LA MEMORIA

En Santiago de Chile, el ___ de _____ del 2023, los abajo firmantes dejan constancia que el alumno Nicolás Gallardo Sauri de la carrera Ingeniería En Energía y Sustentabilidad ha aprobado el proyecto de título para optar al título de Ingeniero en Energía y Sustentabilidad Ambiental con una nota de _____.

Ariel Valdés Barrera

Marcelo Aybar Lagos

Fernanda Palacios Arceu

Agradecimientos

Hacer esta tesis fue prácticamente un viaje de autodescubrimiento, en el que por fin pude decir que a pesar de cualquier obstáculo, lograre todo lo que me proponga por más duro que sea el camino.

Quiero agradecer a mi familia y amigos, por darme ánimo cuando lo necesitaba y por cada sonrisa que me sacaron. A mis dos profesores guías Ariel Valdés y Marcelo Aybar, quienes con sus conocimientos permitieron que este proyecto llegara buen puerto. Por último quiero agradecer a mi pareja quien siempre estuvo para mí por más dura que estuviese la situación.

“¿Un hombre puede ser valiente cuando tiene miedo? Es el único momento donde puede ser valiente.”

Canción de hielo y fuego 1

Resumen

Según el Plan Seguí del Gobierno de Chile, El país actualmente está pasando por el peor período de sequía que ha enfrentado en los últimos 13 años, por lo que el manejo del recurso hídrico es una problemática de suma importancia. Con el pasar de los distintos gobiernos se ha abordado esta problemática desde distintas aristas, como la creación de leyes específicas como el Decreto supremo 90 y el 609, los cuales velan por una correcta descarga en los cuerpos de agua superficiales, o la creación de la política nacional para los recursos hídricos del año 2015. A la par de estas medidas ha habido una implementación de distintas tecnologías para el tratamiento de residuos líquidos como principalmente: lodos activados, lagunas aireadas, zanjas de oxidación y emisario submarino.

Este trabajo tiene como objetivo el generar un plan de mejoramiento de la planta de tratamientos de agua de Gacitúa, ubicada en la comuna de Isla de Maipo (Región Metropolitana) la cual fue diseñada en el 2005, para una población que ya fue ampliamente superada, por lo que se partirá caracterizando el área de estudio, la población y su demanda. Con estos datos y utilizando la metodología de Metcalf & Eddy y Environmental Biotechnology, se adecuarán las dimensiones y procesos de la planta para que pueda tratar los residuos líquidos de manera óptima. Lo anterior se logrará planteando una planta de tratamientos de residuos líquidos por lodos activados convencional, teniendo esta: pre-tratamiento (barra de rejas y desarenador-desengrasador), tratamiento primario (sedimentador primario), tratamiento secundario (lodos activados) y desinfección (estanque de cloración), cada uno de estos procesos especificados correctamente.

Abstract

Currently, Chile is experiencing its worst drought in recent years, as outlined in the government's drought plan. Managing our hydric resources has become a crucial issue in response. Various governments have taken different measures to address this issue, such as implementing laws like Supreme Decrees 90 and 609, which regulate the proper discharge of surface waters, and creating government measures for hydric resources in 2015. In addition, we have witnessed the implementation of new technologies to manage liquid residues, including activated sludges, aerated lagoons, oxidized ditches, and marine outfalls.

The purpose of this document is to develop an improvement plan for Gacitúa's treatment facilities. The plant was constructed in 2005 to accommodate a dissatisfied population. To begin, we will identify key study subjects, such as geography, climate, hydrology, and population. With this information and an already established treatment plan, we will develop a betterment plan to optimize liquid residue treatment. We propose a conventional liquid residue treatment plant with four processes: pre-treatment (using a steel grid and mud cleaner), primary treatment (using a primary settler), secondary treatment (using activated sludges), and disinfection (using pond dye). Each process will be correctly specified to achieve maximum efficiency.

Tabla de contenido

Agradecimientos	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Índice de Imágenes.....	9
Índice de Gráficos	9
Índice de tablas.....	9
1 Introducción	11
2 Objetivos	13
2.1 Objetivo General	13
2.1 Objetivos específicos	13
3 Marco teórico	14
3.1 Sistemas de tratamiento de aguas residuales.	14
3.1.1 Lodos activados	14
3.1.2 Lagunas aireadas.....	15
3.1.3 Zanjias de oxidación	16
3.1.4 Emisario submarino	17
3.2 Tratamientos de aguas en Chile.	18
3.3 Legislación asociada al tratamiento de aguas en Chile	18
Decreto 90	19
Decreto 609	19
3.3.1 Cuentas y políticas públicas referentes al agua.....	20
3.4 Origen de la planta de tratamiento de aguas servidas Gacitúa.....	22
3.4.1 Descripción de las etapas del tratamiento de aguas en planta de Gacitúa.	22
4. Metodología	24
4.1 Área de estudio	24
4.1.2 Clima e hidrografía.....	25
4.1.1 Población de Gacitúa	26
4.2 Dotación de la planta	28
4.3 Propuesta de mejora de la planta Gacitúa.	29
4.4 Descripción de procesos.....	32

4.4.1 Estimación de caudal	32
4.4.1 Reja de barras.....	33
4.4.2 Desarenador – Desengrasador	36
4.4.3 Sedimentador Primario	38
4.4.4 Cloración	40
4.4.5 Lodos activados	41
Diseño del proceso	42
Salidas del Reactor	45
Tasa de salida de lodos	46
Concentración de solidos la recirculación y salida del reactor	47
Tasa de purga de lodos	48
Tasa de recirculación de lodos	48
Requerimiento de nutrientes	48
DBO5 en afluente.....	49
Tasa de suministro de oxigeno	49
5. Resultados	49
5.1 Especificaciones de la planta	49
5.1.1 Tanque aeróbico	50
5.1.2 Estanque de sedimentación	52
5.1.3 Caudales y equipo de impulsión de aire	53
5.1.4 Generación de lodos	56
5.1.5 Desinfección.....	57
5.2 Proyección de población	57
5.3 Proyecciones de dotación.	59
5.4 Diseño de la propuesta de mejora	60
5.4.1 Barra de rejas.....	60
5.4.2 Desengrasador.....	61
5.4.3 Sedimentador Primario	63
5.4.4 Cloración.....	65
5.4.5 Lodos activados.	68
5.5 Comparativa antes y después de la planta.	73
6 Conclusión	77

7 Discusión	74
8 Bibliografía	78

Índice de Imágenes

Imagen 1 Esquema de una planta de tratamiento de aguas por lodos activados. (Elaboración propia)	15
Imagen 2. Esquema de una planta de tratamiento por lagunas aireadas. (Elaboración propia)	16
<i>Imagen 3. Esquema de una planta de tratamiento por zanjas de oxidación. (Elaboración propia)</i>	<i>17</i>
Imagen 4. Esquema de una planta de Emisario Submarino. (Elaboración propia)	17
Imagen 5. Esquema por etapas de la planta de tratamiento de aguas Gacitúa. (Elaboración propia)	24
Imagen 6. Mapa detallado de Isla de Maipo (Municipalidad de Isla de Maipo 2019)	24
Imagen 7. Sector Gacitúa, Isla de Maipo (Google Maps)	26
Imagen 8. Sector Gacitúa dividido por manzanas (INE 2017)	27
Imagen 9. Ubicación actual de la planta de tratamiento (Google Maps 2022)	30
Imagen 10. Plano de etapas de planta de tratamientos Gacitúa. (Memoria de cálculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)	30
Imagen 11. Esquema de la nueva planta de tratamiento de aguas Gacitúa. (Elaboración propia)	31
Imagen 12. Esquema del sistema de rejas. (Elaboración propia)	33
Imagen 13. Esquema de un sedimentador primario. (Elaboración propia)	38
Imagen 14. Rangos normales para varios factores (Environmental Biotechnology 2001)	43
Imagen 15. Esquema procesos lodos activados (Environmental Biotechnology 2001)	46
Imagen 16. Estanque de cloración. (Elaboración propia)	66
Imagen 17. Redistribución del estanque de cloración. (Elaboración propia)	67

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Aumento de la población de Isla de Maipo en los últimos 37 años. (Elaboración propia)	58
--	----

Índice de tablas

Tabla 1: Población por manzanas de Sector Gacitúa. (Elaboración propia)	27
Tabla 2: Composición típica del agua residual doméstica. (Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy).....	28
Tabla 3: Límites de contaminantes de acuerdo con el Decreto Supremo 90	29
Tabla 4: Rendimiento de eliminación de contaminantes por equipo. (Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy)	32
Tabla 5: Criterios de diseño rejas y rejillas (Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy 2003).....	34
Tabla 6: Datos conocidos para la construcción de la planta. (Memoria de cálculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005).....	50
Tabla 7: -Medidas de los tanques de aireación. (Memoria de cálculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)	51
Tabla 8: Dimensiones del estanque de desinfección. (Memoria de cálculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)	57
Tabla 9: Población de Isla de Maipo según los últimos censos. (INE 2017)	58
Tabla 10. Dotación de la planta para la población máxima (Elaboración propia) ..	59
Tabla 11: Especificaciones de la barra de rejas. (Elaboración propia).....	61
Tabla 12: Especificaciones del desarenador. (Elaboración propia).....	62
Tabla 13: Caudal de contaminantes al salir del desarenador - desengrasador. (Elaboración propia)	63
Tabla 14: Caudal de contaminantes al salir del sedimentador primario. (Elaboración propia)	63
Tabla 15: Dimensiones del sedimentador primario. (Elaboración propia)	65
Tabla 16: Dimensiones del estanque de cloración. (Elaboración propia).....	66
Tabla 17: Dimensiones tras la distribución. (Elaboración propia).....	67

1. Introducción

Según el Plan Sequia del Gobierno de Chile (2022), estamos pasando por la peor sequía durante los últimos 13 años, por lo que el tratamiento que le damos a los residuos líquidos es una problemática importante para el país, Según el INE (2017), durante el último censo la población creció un 16,3%, lo que genera un aumento en la demanda hídrica, sin embargo, el recurso es cada vez más escaso, Según el CR2 (Center for climate and Resilience Research) en la zona centro sur del país en promedio los ríos han disminuido su caudal cerca de un 50%, desde los 2,6 m³/s en el periodo de 1985-2015, a los 1,3 m³/s en el lapso 2001-2018. En la actualidad, debido a muchos factores, como industrialización, crecimiento poblacional o cambio climático, existe una crisis hídrica por la escasez del agua. Según el ranking del World Resources Institute (2020), Chile se encuentra entre los países con una mayor escasez del recurso. El consumo de agua promedio por habitante en Chile es de 172 litros diarios, con un crecimiento de un 1% por año, cifra que está muy por encima de la media en Europa, que es de 128 litros por persona (SISS, 2018). Ambos números están muy por encima de lo recomendado por la OMS, que dicta que con 100 litros de agua se pueden satisfacer las necesidades tanto de consumo como de higiene.

Para aterrizar a la realidad del país las ideas expuestas previamente, desde el 28 de enero del 2022 el Ministerio de Obras Públicas declara en escasez hídrica a 6 comunas de la región metropolitana, las cuales son Lo Barnechea, Vitacura, Las Condes, Curacaví, María Pinto y Melipilla, las cuales se suman a las 168 comunas a nivel nacional ya fueron declaradas en escasez hídrica.

Considerando lo anterior, el manejo del recurso hídrico es una temática que es prioridad para el país pues mientras más eficiente sea este, mayor será la disponibilidad del recurso, todo esto debido al periodo de escasez hídrica por el que está pasando la Región Metropolitana, por lo que el siguiente proyecto de título busca optimizar la planta de tratamientos de aguas sector Gacitúa, ubicada en Isla de Maipo.

Actualmente la planta de tratamiento de Gacitúa no cuenta con supervisión del área medioambiental de dicha comuna, además la planta está funcionando al límite de su capacidad para el tratamiento de residuos líquidos, lo que podría generar problemas para la comunidad, pues el tratamiento no se está realizando de manera óptima.

La planta ha experimentado constantes fallas en su funcionamiento en los últimos años, lo cual se ve representado en malos olores en la zona, además de múltiples fallos hidráulicos, lo que muchas veces ha significado molestias constantes para la comunidad aledaña a la planta, como desbordes de las aguas servidas hacia la vía pública, o descargas de agua sin tratar al cuerpo de agua receptor, en este caso el Río Maipo.

Dado lo anterior resulta necesario generar un plan de mejoramiento y ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector Gacitúa.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar un plan de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas sector de Gacitúa, Comuna de Isla de Maipo, que permita cumplir con la demanda de agua de la población para el 2037 y la normativa vigente.

2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar la demanda de agua y aguas residuales de la población de Isla de Maipo.
- Analizar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas Gacitúa, Ubicada en la comuna de Isla de Maipo
- Desarrollar un plan de mejoramiento, re-diseñando y ampliando la planta de Gacitúa, para cumplir con el tratamiento efectivo de aguas residuales generadas en la zona.

3. Marco teórico

3.1 Sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Existen diversas formas de abordar la problemática de tratar el agua contaminada, en su gran mayoría tienen como finalidad la descomposición de materia orgánica a través de microorganismos la cual la metabolizan, en menor medida y principalmente en el mar, tienen como propósito disolver en el océano los residuos líquidos a una gran distancia de la orilla para que no sean un peligro directo para la población. Los principales métodos actuales para conseguir un tratamiento de aguas efectivos son: Lodos activados, Lagunas Aireadas y Zanjales de oxidación.

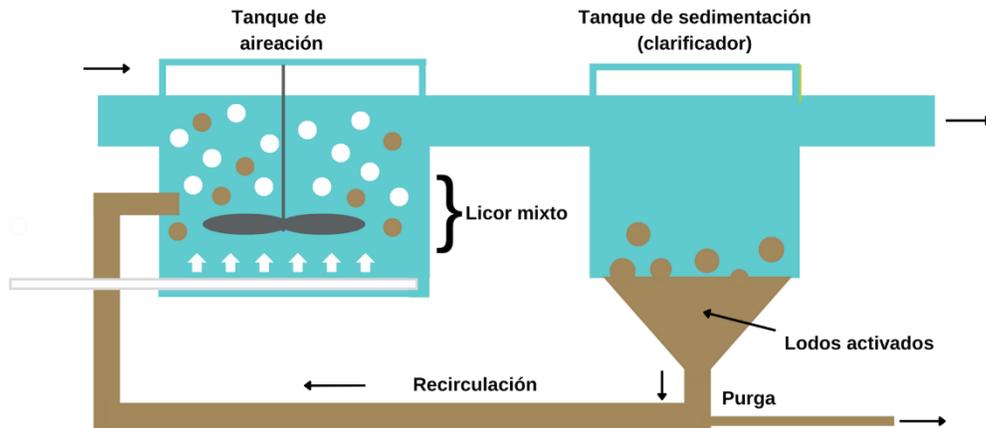
3.1.1 Lodos activados

Siendo el sistema más utilizado en el país, las plantas de tratamiento por lodos activados consiste en, la oxigenación mediante aireadores en un gran estanque donde se encuentran los residuos líquidos, para la degradación por parte de microorganismos, para posteriormente pasar a un tanque de sedimentación donde los lodos son separados, para una parte ser recirculada, debido a su alta carga de microorganismos, y la otra purgada hacia un estanque o cancha de secado, la última etapa consta de desinfección, mediante cloración u ozono, para eliminar Coliformes fecales. El principal objetivo de este proceso es eliminar en grandes cantidades materia orgánica y sólidos suspendidos, además mediante la desinfección, cualquier patógeno.

Del sedimentador se obtienen 3 distintas salidas:

- a) Caudal de salida: Ubicada en la parte superior del Sedimentador, es por donde sale el agua ya tratada y clarificada del tratamiento biológico.
- b) Recirculación de lodos: ubicada en la parte inferior del sedimentador, es por donde sale una porción del lodo que será recirculada al interior del tanque de aireación, debido a que este lodo cuenta con alta carga de microorganismos que pueden ser aprovechados para el tratamiento biológico.

- c) Purga de lodos: Ubicada igualmente en la parte inferior del sedimentador secundario, consiste en una parte del lodo que no es necesario para la recirculación, por lo que junto al lodo purgado en el sedimentador primario va a parar a un digestor de lodos.



*Imagen 1 Esquema de una planta de tratamiento de aguas por lodos activados.
(Elaboración propia)*

3.1.2 Lagunas aireadas

Consisten en un proceso donde se busca eliminar en grandes cantidades la materia orgánica de un afluente de agua, este pudiendo ser tanto municipal como industrial. El proceso consta de una serie de lagunas que, mediante el uso de aireadores, integran oxígeno al agua que se debe tratar, para que así la flora bacteriana presente en el agua pueda metabolizar toda la materia orgánica, para después ser retirada mediante decantación.

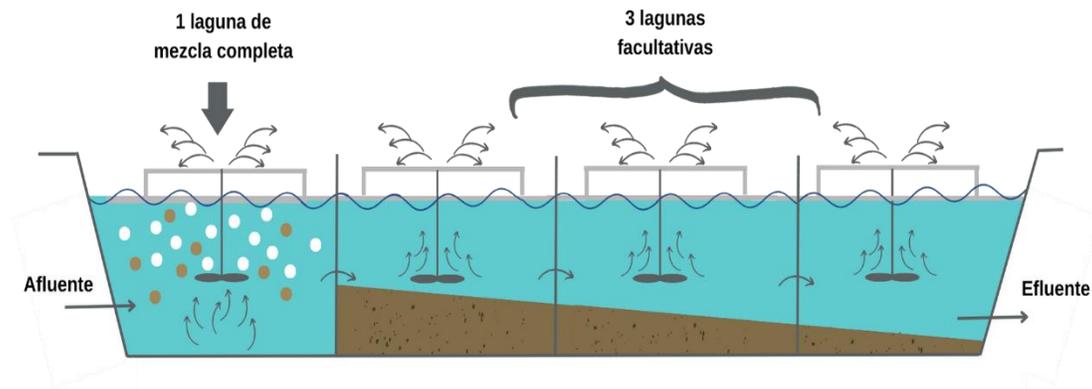


Imagen 2. Esquema de una planta de tratamiento por lagunas aireadas. (Elaboración propia)

A diferencia de los lodos activados, este sistema no cuenta con estanque de sedimentación o digestión de lodos, pues la primera laguna es la encargada de airear la mezcla, tanto como para mantener las condiciones óptimas para los microorganismos, como para mantener todos los sólidos en suspensión evitando la decantación. En el resto de las lagunas la aireación es mucho menor, para que se decante el lodo y que de esa forma el efluente salga limpio.

3.1.3 Zanjas de oxidación

Consisten en un proceso muy similar a los lodos activados, que tiene como objetivo bajar significativamente los niveles de materia orgánica y en menores cantidades nitrógeno. El proceso consta de zanjas de forma ovalada, por las que circula el agua a tratar, la cual mediante un rotor de aireación se mantiene oxigenada, para que los microorganismos puedan metabolizar la materia orgánica a retirar, y además lo mantiene en constante movimiento, lo cual impide la sedimentación. Posteriormente se extrae el exceso de lodos en un tanque de sedimentación, el cual en parte será recirculado, pues contiene alta carga de microorganismos, y el resto será purgado.

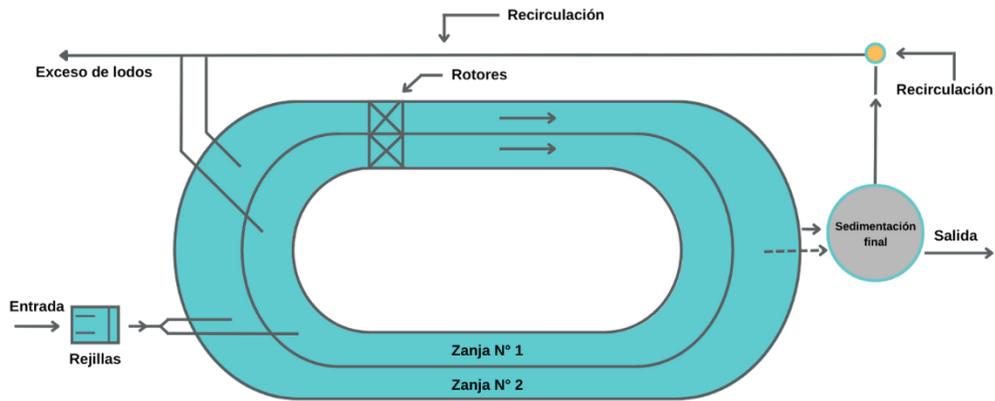


Imagen 3. Esquema de una planta de tratamiento por zanjas de oxidación. (Elaboración propia)

3.1.4 Emisario submarino

Consiste en un proceso que, consta en el traslado y disolución de los contaminantes. Tras pasar por una planta de tratamientos (mayoritariamente físicos), el agua contaminada es transportada de 1 a 4 kilómetros al interior del mar (Ley 19.300-1994), donde es descargada a través de difusores horizontales. El objetivo es alejar los residuos a una distancia segura para el ser humano y lugares de interés, como playas o reservas naturales, para que en el mar se produzca un proceso de descomposición de los contaminantes, sin ser almacenados.

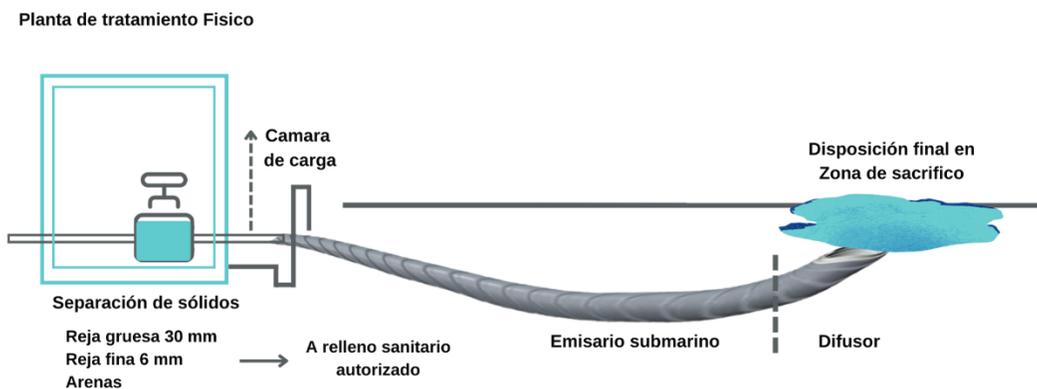


Imagen 4. Esquema de una planta de Emisario Submarino. (Elaboración propia)

3.2 Tratamientos de aguas en Chile.

Según datos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, para el año 2017, en Chile existían 292 plantas de tratamiento de aguas, las cuales funcionan principalmente en base a 4 tecnologías: en un 56,5% Lodos activados (165 plantas); 19,7% Lagunas Aireadas (58 plantas), 4,79% Zanjas de oxidación (14 plantas) y 11,6% Emisario Submarino (34 plantas).

El tratamiento de aguas en Chile es una arista importante actualmente, debido a los 14 años de sequía que lleva el país, pues el manejo del recurso hídrico afecta directamente la disponibilidad del mismo, pero esta situación ha mejorado respecto a décadas atrás, ya que en los años 90's el país tenía un problema considerable con la contaminación de sus aguas, pues no son pocos los registros de playas con alta presencia de coliformes fecales por descarga de aguas servidas al mar. De la misma forma que los ríos eran utilizados en gran parte del país como alcantarillados.

Debido a esta situación se decidió tomar distintas medidas para regularizar el tratamiento de aguas, debido a la creación de nuevas leyes, las empresas se vieron en la obligación de reconvertir o modificar los procesos, para poder realizar una producción limpia, para que sea posible descargar en un alcantarillado, o directamente construir plantas de tratamiento propias, lo que trajo beneficios más allá de directamente medioambientales, como a la salud pública, turismo o agricultura.

3.3 Legislación asociada al tratamiento de aguas en Chile

A finales de los años 90's se crearon las dos grandes normativas en Chile asociadas al tratamiento de aguas: el Decreto 90 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios y Decreto 609 de Ministerio de obras Públicas.

Decreto 90

Establecido en el año 2000, Este decreto establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Tiene como objetivo la protección ambiental, previniendo la contaminación de aguas marinas o continentales superficiales del territorio nacional, mediante el control de los contaminantes asociados a los residuos líquidos. Los contaminantes que contempla este decreto son: sólidos suspendidos, aceites y grasas, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, hidrocarburos fijos, DBO5, arsénico, aluminio, boro, cadmio, cianuro, cloruros, cobre, índice de fenoles, cromo hexavalente, cromo total, estaño, flúor, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, nitrógeno total Kjeldahl, nitrito y nitrato, pentaclorofenol, plomo, SAAM, selenio, sulfatos, sulfuro, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, xileno, zinc, para sólidos sedimentables y Coliformes fecales.

Para este estudio la tabla utilizada será la de descargas en cuerpos de aguas fluviales sin considerar disolución (Tabla N°1)

Decreto 609

Establecido en 1998, este decreto establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado. Tiene como objetivo mejorar la calidad ambiental de las aguas servidas que los servicios públicos vierten en mares o cuerpos de agua superficiales, mediante el control de los contaminantes de origen industrial en los alcantarillados. Los contaminantes que contempla este decreto son: sólidos suspendidos, aceites y grasas, aluminio, boro, hidrocarburos, DBO5, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo total, como hexavalente, fósforo, manganeso, mercurio, níquel, nitrógeno amoniacal, plomo, sulfatos, sulfuro y zinc, y para sólidos sedimentables.

3.3.1 Cuentas y políticas públicas referentes al agua.

Además de estas dos importantes leyes, durante el mandato de todos los presidentes se ha hecho referencia a la disponibilidad de agua como problema nacional, tanto en cuentas como políticas públicas. Las más importantes en cada mandato presidencial son:

Gobierno de Patricio Aylwin (1990-1994): Desde el principio de su gobierno se abordó la problemática de la disponibilidad de agua, en su primera cuenta pública otorga subsidios para alcantarillados y sistemas de agua potables para las zonas rurales del país (Cuenta Pública, 1990: 37). Ya en su segundo año el presidente puso énfasis en la creación de una ley estricta para guiar un desarrollo sostenible (Cuenta Pública, 1992: 70) por lo que se empezó a legislar la Ley 19.300, que en 1994 en el gobierno de Eduardo Frey daría inicio a la CONAMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente, predecesora del Ministerio de Medioambiente) con la intención de crear una institución especializada en la gestión de recursos naturales, como el suelo, aire y el agua. Ya en el último año de su mandato, en la cuenta pública sobre el medioambiente, sostiene que, en base a la justicia social, el verdadero desarrollo supone la conservación de la naturaleza y la calidad de vida humana (Cuenta Pública, 1993: 48-9)

Gobierno de Eduardo Frei Ruiz-Tagle (1994-2000): En el primer año del presidente el estado chileno se compromete incorporar la dimensión ambiental en las políticas sectoriales. Con este objetivo, el Gobierno fortalecerá la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, y las respectivas Comisiones Regionales (Cuenta Pública, 1994: 31), además del fortalecimiento de la CONAMA y de sus instrumentos de fiscalización, con el objetivo de evitar la contaminación del agua. A partir de 1998 se aprecia en las políticas públicas se aprecia lo que se denomina el imperativo crecimiento sustentable, aunque este fenómeno tiene como objetivo el fortalecimiento de la economía en áreas estratégicas como la inversión, negocios internacionales y políticas a largo plazo a pesar de la crisis asiática.

Gobierno de Ricardo Lagos (2000-2005): En términos de agua, el principal esfuerzo del presidente se identifica la descontaminación de ríos en Bio Bío y la ciudad de Concepción durante el año 2000, para el año 2002 hace énfasis en la construcción de plantas de tratamientos de agua, y en la cuenta pública de dicho año indica que para el año 2010 el 100% de las aguas del país serán tratadas (Cuenta Pública, 2002: 20)

Primer Gobierno de Michelle Bachelet (2006-2010): Como primer hito relacionado al recurso, en el 2008 se hace referencia a nuevas tecnologías para la extracción del cobre, que aprovechen de mejor forma recursos como el agua y la energía (Cuenta Pública, 2008: 11). Por su parte el Ministerio de Medio Ambiente focaliza su atención en impulsar una institucionalidad de manera dinámica y moderna para un desarrollo económico sustentable. Por otra parte, el año 2006 se aprueba la Ley N° 20017, la cual había sido presentada el año 1992, que consta en una modificación al código de aguas.

Primer Gobierno de Sebastián Piñera (2010-2014): Lo primero que destaca en este mandato son las consecuencias del terremoto de magnitud 8,8 en la escala Richter que afectó a la zona centro-sur del país, por lo que durante todo el gobierno se estuvo trabajando en reparar los alcantarillados que sufrieron daños. Por otra parte se hizo énfasis en la gestión de recursos hídricos, principalmente en la fiscalización de la extracción ilegal de agua en los cauces naturales del país (Cuenta Pública, 2010: 297) proyectando preocupación sobre la falta de fiscalización por parte de la DGA (Dirección General de Aguas).

Segundo Gobierno de Michelle Bachelet (2014-2018): Durante este mandato se empiezan a notar los efectos de la sequía que hasta el día de hoy afecta al país, lo que presento grandes retos a nivel institucional, además de ser agravado por el manejo del recurso hasta ese momento, como la sobreexplotación (Cuenta Pública, 2014: 20). Debido a como están estructurados los derechos del agua, no siendo reconocidos como bien de uso público, sino un bien mercantilizado por la ley general de aguas de 1982, el año 2015 se crea un plan de gobierno para abordar la escases, llamado “Política Nacional para los recursos hídricos 2015”, donde expertos, junto

a diversos ministerios dimensionan la real magnitud del manejo ineficiente del agua, además de idear sistemas de captación de aguas de lluvia y abastecimiento de agua potable para consumo humano. De manera complementaria se busca mejorar la capacidad de operación de la ONEMI (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior) creando el Servicio de Gestión de Riesgos y Emergencias.

3.4 Origen de la planta de tratamiento de aguas servidas Gacitúa.

La planta de tratamiento de residuos líquidos Gacitúa, se creó 2005 con la intención de tratar todas las aguas servidas generadas en el sector, por lo que se diseñó con una población aportante máxima de 2500 habitante, considerando el promedio de 173 litros de agua que utiliza una persona durante un día, y un factor de recuperación de la planta de 0,8, el caudal para el que se pensó la planta es de 346 m³/día.

El proceso que se utiliza para tratar estos residuos líquidos son lodos activados, modalidad aireación extendida, proporcionada por la empresa AGUASIN, modelo LA-1970-E. Tras hacerse efectivo el tratamiento de aguas, y cerciorarse que cumpla con la tabla n°1 del decreto 90 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el cuerpo de agua receptor para las descargas del agua será el Rio Maipo, el cual geográficamente se encuentra aledaño a la planta de tratamiento de aguas Gacitúa.

3.4.1 Descripción de las etapas del tratamiento de aguas en planta de Gacitúa.

El funcionamiento de la planta consta en acelerar el proceso natural de la degradación de materia orgánica, el cual se logra con las siguientes etapas: Aireación, sedimentación y recirculación de lodos, retiro de lodos en exceso y cloración.

- Aireación: El agua servida es recepcionada y acumulada en un estanque, la cual será aireada y agitada para evitar la sedimentación de los sólidos y mantener su estado aeróbico. En el estanque, el agua es mezclada con lodo de la siguiente etapa, lo que resulta en un Licor de Mezcla (LM). En esta etapa las bacterias que naturalmente están en el agua, se alimentan de la materia orgánica que se encuentra diluida, por lo que se genera un aumento de la población microbiana y un consumo de oxígeno.
- Sedimentación y recirculación de lodos: Después de que las bacterias hayan metabolizado las partículas de materia orgánica, se pasa a un estanque de sedimentación de flujo laminar, donde se separan los sólidos de los líquidos mediante decantación, debido a que los sólidos ya pasaron por la etapa 1 los lodos están compuestos principalmente por microorganismos, así que una parte es retornada hacia el paso anterior.
- Retiro de lodos en exceso: Con el pasar del tiempo en la planta, va aumentando constantemente la cantidad de lodo, junto la flora bacteriana, por lo que es necesario un proceso de depuración de lodos para evitar saturación y mantener un equilibrio entre la materia orgánica y los microorganismos. Para eso se instalará un digestor de lodos, el cual recepciona el exceso de lodos provenientes de la etapa 2. En el digestor el exceso de lodo, al igual que en la etapa 1 se mantendrá en condiciones aeróbicas, solo que durante más tiempo eliminándose la totalidad de materia orgánica, logrando un lodo rico en nutrientes.
- Cloración: El agua que abandona el sedimentador, mediante desborde, es recolectada y conducida a un estanque, donde se realiza el proceso de cloración, mediante la adición de hipoclorito, con lo que la cantidad de organismos patógenos y coliformes fecales es considerablemente disminuida, con la intención de minimizar el riesgo de contagio de

enfermedades por personas y seres vivo, por contacto con el curso de agua receptor.

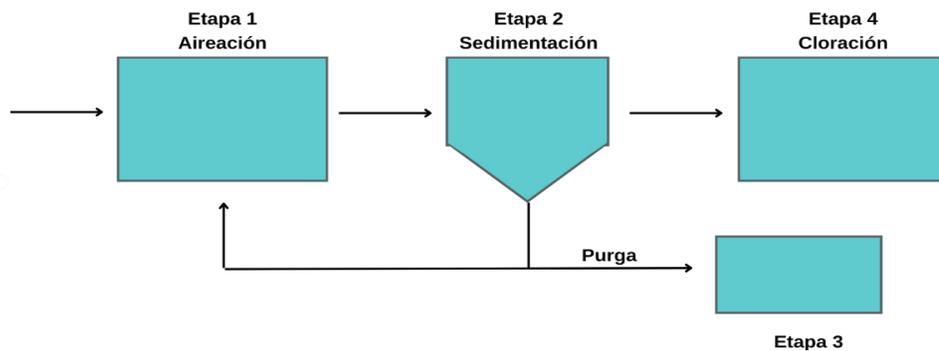


Imagen 5. Esquema por etapas de la planta de tratamiento de aguas Gacitúa. (Elaboración propia)

4. Metodología

4.1 Área de estudio

La planta de tratamiento de aguas de Gacitúa se ubica en Isla de Maipo, comuna de 189 km² de superficie (Subsecretaria de desarrollo regional 2023) que se encuentra en la Región Metropolitana de Santiago dentro de la cuenca, en las coordenadas Latitud -33.75° S y longitud -70,9° O, pertenece a la provincia de Talagante y se encuentra a una distancia de 49 kilómetros de la capital regional. Colinda con las comunas de El Monte y Talagante por el norte, San Bernardo y Buin por el Este, Paine por el Sur y por el Oeste con Melipilla.

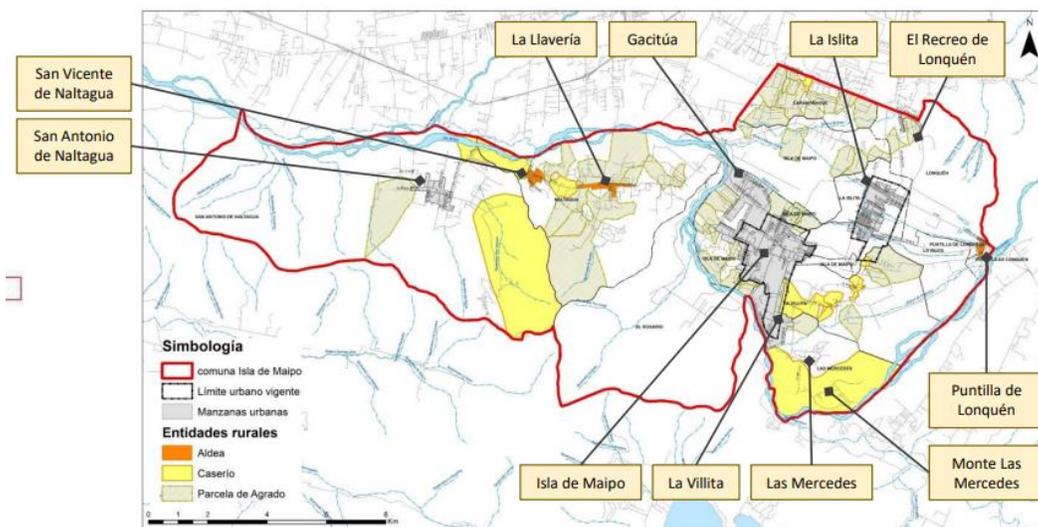


Imagen 6. Mapa detallado de Isla de Maipo (Municipalidad de Isla de Maipo 2019)

4.1.2 Clima e hidrografía.

Isla de Maipo, al igual que la gran mayoría de la Región Metropolitana, corresponde a un clima mediterráneo, con una gran estación seca y un invierno lluvioso. Para toda la Región Metropolitana la temperatura media es de 13,9°C, siendo 21,1°C el promedio del mes más cálido, siendo este enero, y 7,7°C el promedio del mes más frío, siendo este Julio (Sistema de información territorial 2021).

Dentro de la Región Metropolitana existen diferencias climáticas, principalmente debidas al relieve, la presencia de la cordillera de los andes y de la costa, por lo que el clima de Isla de Maipo, comuna que se encuentra en la cuenca de Santiago, tiende a presentar mayor temperatura en los meses de verano y más bajas en los meses de invierno, siendo 30,3°C y 5,3°C los promedios respectivos para dichos meses. (Ministerio de Medioambiente 2016)

En términos de precipitaciones, estas tienen una tendencia irregular, pues un año puede ser muy lluvioso y el siguiente muy seco. Durante el periodo de 1980 y 2010, según la Dirección Meteorológica de Chile se tienen registros de un mínimo de 422 milímetros y un máximo de 491 milímetros. Estas lluvias se presentan principalmente en los meses de mayo hasta agosto.

Isla de Maipo, al estar en el centro de la cuenca del río Maipo, tiene como principal curso de agua superficial dicho río, el cual recorre la comuna desde el extremo Sur-Este, para recorrer la comuna hacia el norte, y terminar en el extremo Noroeste, siendo el límite comunal en la desembocadura del río Mapocho en el río Maipo.

Es el principal cuerpo de agua superficial en la región metropolitana, en la cordillera se le unen los ríos Volcán, Yeso y Colorado, además del estero Clarillo, en el sector de la cuenca se le une el río Angostura y los esteros Paine y Peralillo, en Isla de Maipo recibe el afluente del río Mapocho y los esteros Gato y Gatica.

Si bien el río Maipo es el principal cuerpo de agua superficial en Isla de Maipo, está lejos de ser el único, cuenta con esteros como el Gato, Gatica y El Chancho, además de quebradas como: La Quebrada Grande, El Buitre, Del agua, Del Peñón, San Ramón y la Patagua.

4.1.1 Población de Gacitúa

De acuerdo con los datos del censo 2017, Isla de Maipo cuenta con una población total de 36.219 habitantes lo que significa un 0,21% a la población del país.

Este estudio se focalizó en el sector de Gacitúa el cual cuenta con una superficie total de 1,09 km² y que podemos vislumbrar en la siguiente imagen.

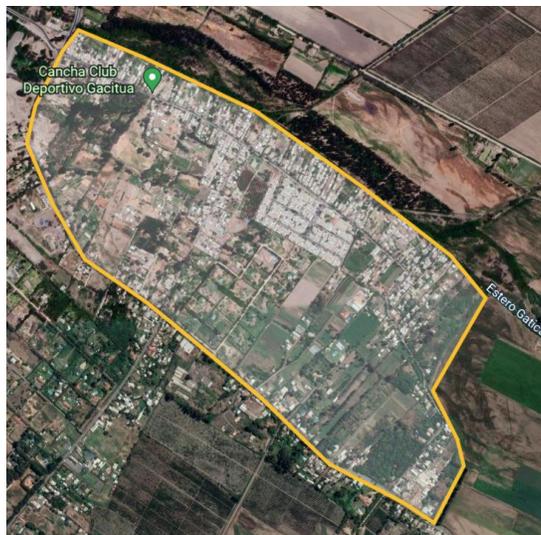


Imagen 7. Sector Gacitúa, Isla de Maipo (Google Maps)

Para definir la población que actualmente estaría conectada a la planta de tratamientos de agua sector Gacitúa se utilizaran los datos de del censo 2017 (INE, 2017), específicamente la cantidad de habitantes por manzanas dentro del sector de Gacitúa, lo que nos arroja una población estimada de 2.656 habitantes.



Imagen 8. Sector Gacitúa dividido por manzanas (INE 2017)

Tabla 1: Población por manzanas de Sector Gacitúa. (Elaboración propia)

Manzana	Población (habitantes)
A1	117
A2	593
A3	307
A4	530
A5	570
A6	17
A7	197
A8	73
A9	129
A10	123
TOTAL	2.656

4.2 Dotación de la planta

Se define la dotación de la planta como la caracterización y cantidades del afluente entrante a la planta, estos valores dependen en gran parte de la población, pues entre mayor sea la gente que descarga sus residuos líquidos en la planta, mayor será la cantidad de agua que entra y por consiguiente, mayor la cantidad de contaminantes.

Para este proyecto se utilizó la composición típica del agua residual doméstica (Metcalf y Eddy 2015) la cual nos indica concentraciones y contaminantes que normalmente se encontraran a la entrada de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2: Composición típica del agua residual doméstica. (Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy)

Contaminante	Concentración	Unidad
Solidos Suspendidos	220	mg/l
DBO5	220	mg/l
Nitrógeno org.	40	mg/l
Amoniaco	25	mg/l
Fosforo	8	mg/l
Cloruros	50	mg/l
Sulfatos	30	mg/l
Alcalinidad	100	mg/l
Aceites y grasas	100	mg/l
Coliformes totales	10 ⁸	n/100ml

Este Afluente debe ser comparado con los valores establecidos en el Decreto Supremo 90 (2001), específicamente en la tabla N°1 que nos indica los Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales, pues esta planta de tratamiento de aguas descarga en el Rio Maipo.

Tabla 3: Límites de contaminantes de acuerdo con el Decreto Supremo 90

Contaminante	Concentración	Unidad
Sólidos Suspendidos	80	mg/l
DBO5	35	mg/l
Nitrógeno total	50*	mg/l
Fosforo	10	mg/l
Cloruros	400	mg/l
Sulfatos	1000	mg/l
Alcalinidad	--	mg/l
Aceites y grasas	20	mg/l
Coliformes totales	1000.	NMP/100 ml

*nitrógeno total corresponde a la suma del Nitrógeno org y Amoniaco

Comparando las dos tablas se aprecian los contaminantes que no cumplen con la norma establecida, resultando en un excedente de: sólidos suspendidos, DBO5, nitrógeno total (nitrógeno orgánico + amoniaco), coliformes fecales y aceites y grasas. Mientras que contaminantes como fosforo, cloruros y sulfatos, cumplen con la norma antes de entrar a la planta.

4.3 Propuesta de mejora de la planta Gacitúa.

Actualmente la planta de tratamiento de aguas está ubicada en la rivera del río Maipo sector Gacitúa y cuenta con un área de 1.736 m², por lo que se utilizó este mismo espacio para la propuesta de mejora de la planta.



Imagen 9. Ubicación actual de la planta de tratamiento (Google Maps 2022)

En este momento el espacio está siendo utilizado de la siguiente manera:

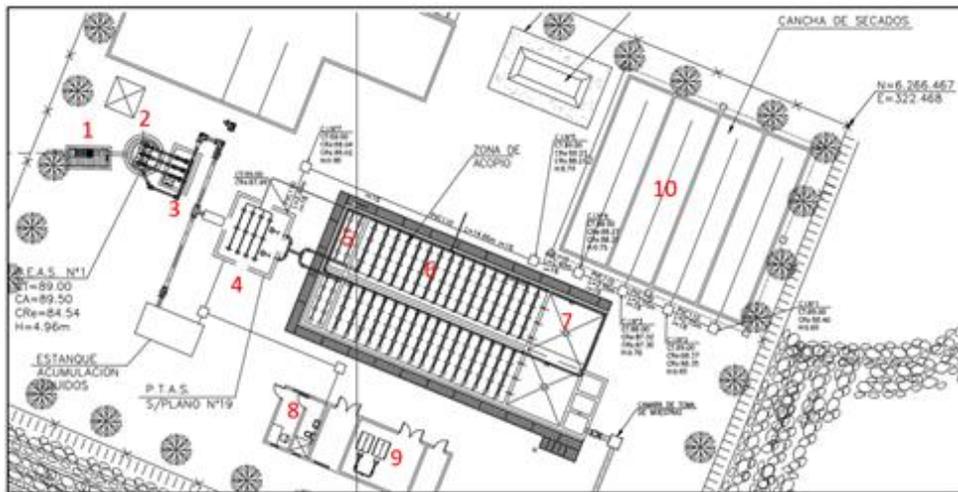


Imagen 10. Plano de etapas de planta de tratamientos Gacitúa. (Memoria de cálculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)

Siendo:

1. Cámara de rejás
2. Planta elevadora
3. Cámara de válvulas
4. Estanque eculizador
5. Estante digestor
6. Estanque aireador

7. Estanque sedimentador
8. Sala de cloración
9. Sala de generador y aireadores
10. Cancha de secado de lodos.

En el espacio a utilizar se aplicó un modelo tradicional de planta de tratamiento de aguas, que consta de una barra de rejas y sedimentador primario, como tratamiento primario; un estanque de aireación de lodos y un sedimentador secundario, como tratamiento biológico, además de un estanque de cloración al final de la planta y un digestor de lodos.

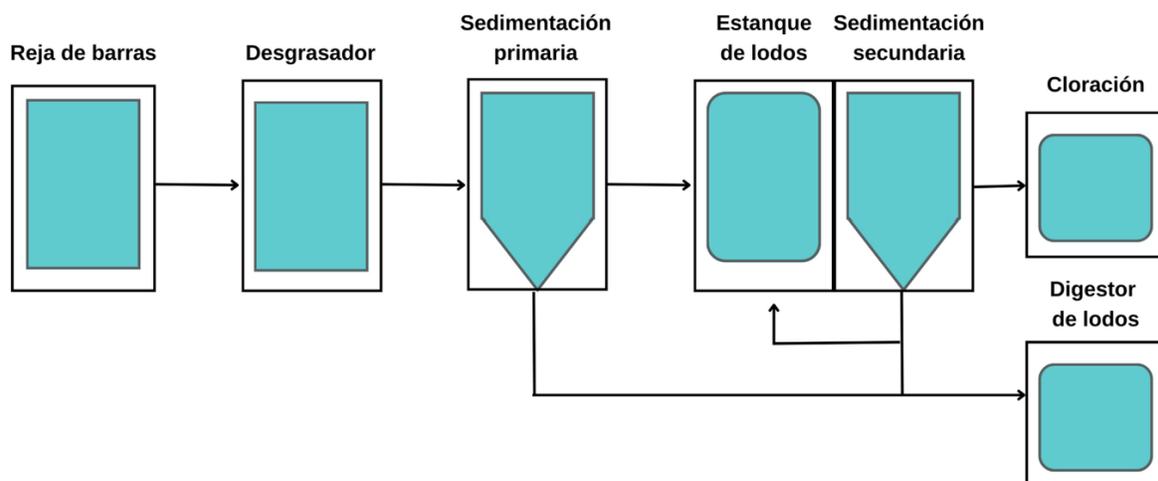


Imagen 11. Esquema de la nueva planta de tratamiento de aguas Gacitúa. (Elaboración propia)

Para calcular si con este nuevo método se logra cumplir las especificaciones del Decreto Supremo 90, se utilizaron las eficiencias para cada equipo extraídas de la siguiente tabla (Metcalf y Eddy 2015):

Tabla 4. Rendimiento de eliminación de contaminantes por equipo. (Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy)

Unidades de tratamiento	DBO	Solidos Suspendidos	Fosforo	Nitrógeno Orgánico	Amoniaco
Rejas de Barras	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Sedimentación primaria	30-40	50-65	10-20	10-20	Nulo
Fangos Activados	80-95	80-90	10-25	15-50	8-15
Cloración	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo

4.4 Descripción de procesos

4.4.1 Estimación de caudal

Para calcular el caudal que recibirá la planta de tratamiento de aguas Gacitúa se utilizó la siguiente fórmula (Metcalf y Eddy):

Fórmula 1

$$Q_{med} = P \cdot D \cdot R / 1000$$

Siendo:

Q_{med}: Caudal medio (L/s)

P: Población (hab)

D: Dotación de consumo (L * hab * día)

R: Coeficiente de recuperación.

Según datos revisados anteriormente, la dotación por persona será de 173 litros al día.

Para el coeficiente de recuperación, según el Metcalf y Eddie un valor conservador para adoptar es 0,8.

4.4.1 Reja de barras

Siendo el pre-tratamiento y funcionando como una barrera física que separa residuos sólidos de gran tamaño, que no pueden tratarse al interior de la planta, además de poder provocar obstrucción de los mecanismos.

Al no haber ninguna eliminación de contaminantes importantes en esta etapa los contaminantes a la entrada son los mismos que a la salida.

La forma que tiene la barra de rejillas consta de un canal, en el que barras en forma diagonal separan los sólidos más grandes.

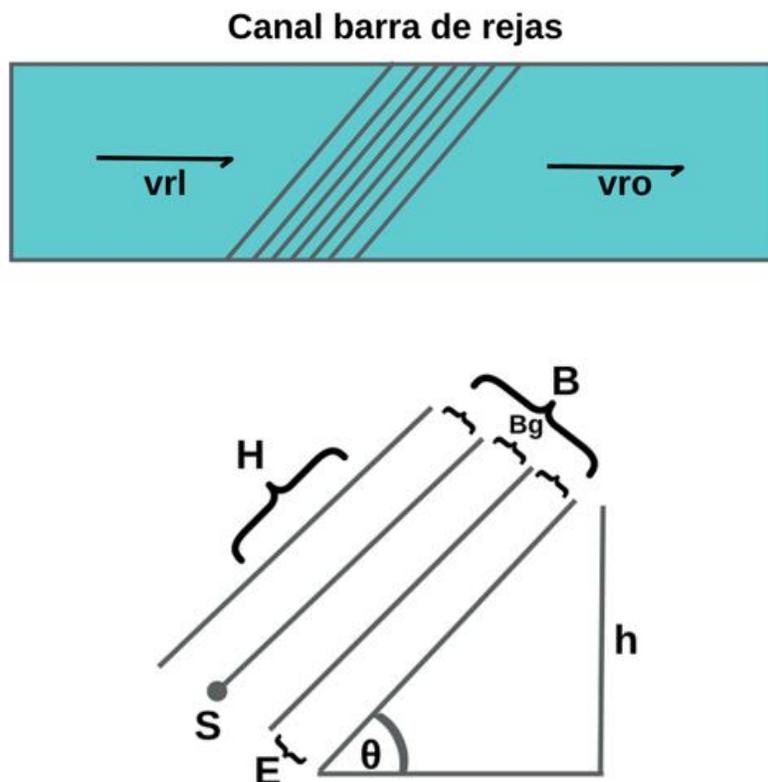


Imagen 12. Esquema del sistema de rejillas. (Elaboración propia)

Siendo:

Θ Inclinación = 40°

S Espesor de barras = 0,05 m

E Separación entre barras = 0,025 m

B Ancho del canal = 0,5 m

V_{rl} Velocidad reja limpia = 0,045 m/s

V_{ro} Velocidad reja obstruida.

H Largo de la reja

La gran mayoría de estos parámetros serán tomados de la siguiente tabla:

Tabla 1.3 Criterios de diseño de rejas y rejillas (Metcalf & Eddy, Inc., 2003)

Característica	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de barra		
Ancho (mm)	5.08 - 15.24	5.08 - 15.24
Profundidad (mm)	25.4 - 38.1	25.4 - 38.1
Espacio entre barras (mm)	25.4 - 50.8	15.24 - 76.2
Inclinación sobre la vertical (grados)	30 - 45	0 - 30
Velocidad de acercamiento (m/s)	0.3048 - 0.6096	0.6096 - 0.9906
Pérdida de carga permisible (mm)	152.4	152.4

Tabla 5. Criterios de diseño rejas y rejillas (Ingeniería de aguas residuales Metcalf & Eddy 2003)

Para conocer todos los parámetros que debe tener nuestra barra de rejas, en primer lugar, se calculara el área del canal, utilizando la siguiente fórmula:

Fórmula 2

$$A = Q / V_{rl}$$

Conociendo el valor del área, se puede calcular el valor del tirante hidráulico que tendrá nuestro canal, resultando en la siguiente expresión:

Fórmula 3

$$h = A / B$$

Posteriormente se calculó la suma de la separación entre barreras, resultando en la siguiente expresión:

Fórmula 4

$$Bg = (((B-E) / (S+E))+1) * E$$

Lo siguiente será calcular el área de espacio entre las rejillas, lo que se obtiene utilizando la siguiente fórmula:

Fórmula 5

$$AE = H * Bg$$

En este caso no se conoce el valor de H por lo que con trigonometría se puede calcular, la expresión quedaría de la siguiente forma:

Fórmula 6

$$H = h / \text{sen } \Theta$$

Con estos datos, se calculó la velocidad del agua al pasar entre las rejillas, utilizando la siguiente expresión:

Fórmula 7

$$VE = Q / AE$$

Con todos estos parámetros, se puede calcular el número de rejillas necesarias para este canal, utilizando la siguiente fórmula:

Fórmula 8

$$n = (Bg/E) - 1$$

Cabe destacar que este valor siempre debe ser redondeado hacia arriba, pues no se puede tener una fracción de reja, solo unidades cerradas.

4.4.2 Desarenador – Desengrasador

Siendo una variante de un desarenador convencional, además de extraer partículas de gran tamaño que pasarían a través de la barra de rejillas, se encarga de eliminar los aceites y grasas del caudal con una eficiencia de 80% al 95%. Estos equipos consisten en 3 zonas: desengrasado, desarenado y extracción de arenas. El funcionamiento de este proceso es que con difusores de aire se agita el agua a tratar permitiendo que las turbulencias de grasas y aceites asciendan hacia la parte superior del estanque para ser extraída.

Lo primero a hacer es fijar algunos parámetros, los cuales son:

TRH (tiempo de retención hidráulico) = 15 min (valor entre 12 a 16 min)

CS (carga superficial) = 39 m³/m²*h (valor menor a 40 m³/m²*h)

Vh (velocidad horizontal) = 0,05 m/s (valor entre 0,02 y 0,07)

Suministro de aire = 1,0 m³/h*m³ de tanque (0,5 a 2,0 m³/h*m³ de tanque)

Con estos datos se puede calcular el volumen de la zona de desarenado, el cual estaría expresado de la siguiente forma:

Fórmula 9

$$V = Q * TRH$$

El siguiente parámetro a determinar es el caudal punta, para esto se utilizó la siguiente expresión:

Fórmula 10

$$Q_p = Q * \text{Coeficiente de punta}$$

A su vez el coeficiente de punta se calcula de la siguiente manera:

Fórmula 11

$$\text{Coeficiente punta} = 9 * \ln (\text{población})^{0,1} + 13,3$$

A continuación, se calculó el área superficial del estanque, resultando en la siguiente expresión:

Fórmula 12

$$A_s = Q_p / C_s$$

Más tarde se calculó el área transversal del estanque, por lo que se utilizara la siguiente formula:

Fórmula 13

$$A_t = Q_p / V_h$$

Posteriormente se calcularían las dimensiones del estanque de desarenado – desengrasado, para esto se utilizaron las siguientes fórmulas:

Fórmula 14

$$\text{Ancho} = V / A_t$$

Fórmula 15

$$\text{Profundidad} = V / A_s$$

Fórmula 16

$$\text{Longitud} = V / \text{Ancho} * \text{Profundidad}$$

Para agregar el volumen de la zona de desengrasado, se debe agregar a la longitud una porción en relación de 1/3, por lo que la longitud total se expresaría de la siguiente forma:

Fórmula 17

$$\text{Longitud T} = \text{longitud} + (\text{longitud} / 3)$$

Finalmente se calculó la cantidad de aire necesario para este proceso, por lo que se utilizó la siguiente formula:

Fórmula 18

$$\text{Aire} = \text{suministro de aire} * V$$

4.4.3 Sedimentador Primario

Siendo un método de separación física, el sedimentador primario, a través de la gravedad busca reducir la turbulencia y la velocidad del caudal de entrada al tratamiento biológico. Debido a su funcionamiento que retira los contaminantes decantados al fondo del estanque, retira principalmente solidos sedimentables y materia orgánica, y en pequeñas cantidades fosforo y nitrógeno orgánico.

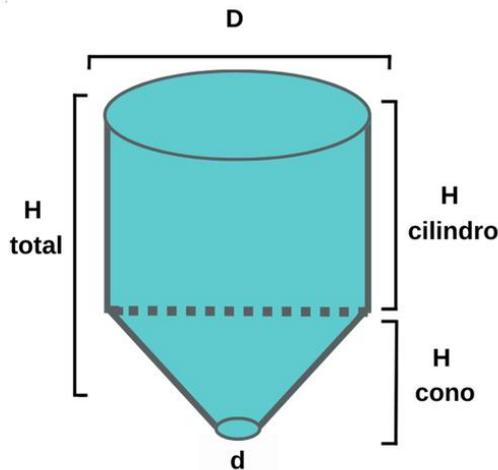


Imagen 13. Esquema de un sedimentador primario. (Elaboración propia)

Tras calcular el caudal, se dimensiono el sedimentador primario, por lo que se debe fijar algunos parámetros (extraídos del Metcalf y Eddie) como:

H cilindro = 3,4 m (3,0 m – 4,9 m, sumando 0,5m de borde libre)

H como = 1,5 m (1,0 m – 1,5 m)

$d = 1,5 \text{ m}$

CS (Factor de carga superficial) = $32,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

Con estos datos, se inicia calculando el área del círculo superior del cilindro y con esto el diámetro superior del sedimentador:

Fórmula 19

$$A = Q / \text{CS}$$

Fórmula 20

$$D = 2 * \sqrt{(A / 3,1415)}$$

Posteriormente se procede a calcular el volumen del cilindro, pues el volumen total del sedimentador es la suma de la sección cilíndrica y la sección cónica:

Fórmula 21

$$V_{\text{cilindro}} = H_{\text{cilindro}} * A$$

Y al valor utilizando en la altura del cilindro, se le debe sumar el 0,5 del borde libre con el que debe contar todo sedimentador.

Con el primer volumen calculado solo resta calcular el volumen del cono inferior, por lo que se utilizara la siguiente fórmula:

Fórmula 22

$$V_{\text{cono}} = (3,1415/12) * H_{\text{cono}} * (D^2 + Dd + d^2)$$

Ya con ambos volúmenes calculados solo es cuestión de sumarlos para tener el volumen que deberá tener nuestro sedimentador primario. Posterior a esto, como valor operacional y como referente se calculó el tiempo de retención hidráulico del sedimentador (TR) el cual, según parámetros de Metcalf y Eddie, no debe ser superior a 4 horas:

Fórmula 23

$$TR = V / Q$$

4.4.4 Cloración

La adición de cloro se hace con el propósito de desinfectar el caudal de salida (con una efectividad de 99,9% (Metcalf y Eddie)), así evitando la propagación de enfermedades de cualquier persona que tenga contacto con el cuerpo de agua receptor, además de la formación de microalgas que tienden a enturbiar el agua. Para aplicar el cloro, normalmente se utilizan pastillas de hipoclorito de sodio a la salida del estanque de sedimentación de los lodos activados.

Para determinar el Volumen que deberá tener el tanque de Cloración se utilizó el tiempo de retención hidráulico de este tanque, el cual según la Normas del Instituto Nacional de Normalización (NCh3218 2012) está en el rango de 15 -30 min.

Fórmula 24

$$TRH = V/Q$$

Posteriormente, para calcular todas las dimensiones del tanque se utiliza la relación establecida de largo: ancho = 1:6 – 1:10

Como desinfectante se ocupó hipoclorito de sodio con una concentración de 70mg/L, el cual es ampliamente usado en plantas de tratamiento de aguas, para calcular la cantidad necesaria para esta planta, lo primero será fijar la demanda necesaria (valor entre 0,2 – 1,0 mg/l (Ente de obras hidráulicas y saneamiento 2020)), fijando este valor se utilizara la siguiente fórmula para calcular el peso de cloro necesario:

Fórmula 25

$$W = \text{Demanda} * Q$$

Posteriormente para calcular el caudal de Hipoclorito de sodio con una concentración de 70 mg/L que serán necesarios, se utilizara la siguiente expresión:

Fórmula 26

$$Q \text{ cloro} = W * \text{Concentración}$$

4.4.5 Lodos activados

Para calcular los parámetros de operación para lodos activados, es necesario comenzar por definir algunos datos operacionales:

Q: Caudal afluente (m³/d)

S⁰: Concentración afluente de DBO (mg DBO/L)

Xa⁰: Concentración afluente de biomasa activa (mg VSS/L)

Xi⁰: Concentración afluente de biomasa inerte (mg VSS/L)

SSi⁰: Concentración afluente de sólidos inorgánicos (mg SS/L)

Con estos datos operacionales se puede calcular el Q*S⁰ (Carga volumétrica de DBO) con la siguiente fórmula.

Fórmula 27

$$Q*S^0 = Q * S^0 / 1000 / V*0,68$$

Siendo V el volumen del reactor.

Posteriormente es necesario fijar los parámetros cinéticos y estequiométricos, ósea las características óptimas de la generación de bacterias en los lodos activados a 20°C, a utilizar en la planta:

q_{max}: 10 (mg DBO / (mg VSS*d))

K: 10 (mg DBO/L)

Y: 0,4 (mg VSS / mg DBO)

b: 0,1 (1/d)

fd: 0,8

Todos los valores utilizados son extraídos de Environmental Biotechnology - 2001

Con Todos los datos recopilados anteriormente se pueden obtener más parámetros con los que operaría la planta, en este caso los valores límites del proceso, que serían el tiempo mínimo para el tratamiento y la referencia mínima de concentración:

Fórmula 28

$$(\theta X_{\min})_{\text{lim}} = 1 / (Y^* q_{\max} - b)$$

Siendo $(\theta X_{\min})_{\text{lim}}$ el tiempo mínimo para el tratamiento.

Fórmula 29

$$S_{\min} = (\theta X_{\min})_{\text{lim}} * K * b$$

Siendo S_{\min} La referencia mínima para la concentración.

Diseño del proceso

El proceso a utilizar corresponde al diseñado por Rittmann en Environmental Biotechnology – 2001, para comenzar con el diseño del proceso es necesario fijar factores típicos para la carga de los procesos, valores que serán fijados a partir de los siguientes datos:

Imagen 14. Rangos normales para varios factores (Environmental Biotechnology 2001)

Normal Ranges for Various Factors						
Process Modification	Volumetric kg BOD ₅ /m ³ -d	MLSS mg/l	F/M _v kg BOD ₅ / kg X _v -d	Typical BOD ₅ Removal Efficiency	Typical θ _x ^d d	Safety Factor*
Extended Aeration	0.3	3,000–5,000	0.05–0.2	85–95 ^B	> 14	> 70
Conventional						
Conventional	0.6	1,000–3,000	0.2–0.5	95	4–14	20–70
Tapered Aeration	0.6	1,000–3,000	0.2–0.5	95	4–14	20–70
Step Aeration	0.8	1,000–3,000	0.2–0.5	95	4–14	20–70
Contact Stabilization	1.0	A	0.2–0.5	90	4–15	20–75
Modified Aeration	1.5–6	300–600	0.5–3.5	60–85 ^B	0.8–4	4–20
High-Rate Aeration	1.5–3	5,000–8,000	0.2–0.5	95	4–14	20–70

* Assumed value of growth coefficients: $Y = 0.65$ g cells/g BOD₅, $b = 0.15$ d⁻¹.

A: Contact tank typically has 1,000–3,000 mg/l; stabilization tank typically has 5,000–10,000 mg/l.

B: Higher efficiency is based upon soluble effluent BOD₅.

SOURCE: Lawrence and McCarty (1970).

El primero de los valores a fijar es el FS (factor de seguridad) que vendría siendo un indicador para las dimensiones de la planta de tratamiento, mientras mayor sea el factor de seguridad, de mayor dimensión será la planta de tratamientos.

FS (factor de seguridad 20) (valor normal para un sistema convencional entre 20 - 70, se fijó en 20 siendo el valor mínimo, para optimizar recursos)

θ_x (Tiempo de reacción de la masa): 5 días (valor de diseño típico de 4 -14 días)

MLSS (Sólidos suspendidos en licor de mezcla): 3000 mg SS/L (valor entre 1000 - 3000, se utilizó 3000 para ponerse en el peor de los casos)

MLVSS/MLSS (Razón de sólidos Volátiles orgánicos / inorgánicos): 0,8335 (valor entre 0,8 - 0,9)

MLVSS (X_v) (Cantidad de bacterias inertes y vivas): Este valor debe ser calculado con la siguiente formula:

Fórmula 30

$$MLVSS (X_v) = MLVSS/MLSS * MLSS$$

F/mv (Relación Comida microorganismos): Tiene un valor típico de 0,2 – 0,5, y para determinar el necesario para la planta se utilizó la siguiente formula:

Fórmula 31

$$F/mv = Q \cdot 1000 \cdot S^0 \cdot 0,68 / V / 1000 / MLVSS (Xv)$$

S (concentración a la salida del reactor de DBO): Para determinarlo se debe utilizar la siguiente formula:

Fórmula 32

$$S = K \cdot (1 + b \cdot \Theta_x) / (\Theta_x \cdot (Y \cdot q_{max} - b) - 1)$$

Con todos estos parámetros y utilizando la siguiente formula se puede determinar el tiempo de retención hidráulico (Theta Θ) el cual es dato muy importante para el dimensionamiento de la planta, pues es el tiempo (días) que demora en recorrer el caudal de entrada el tratamiento, y además es fundamental para dimensionar el volumen del estanque de lodos.

Fórmula 33

$$\text{Theta } \Theta = \Theta_x \cdot (X_i^0 + 1(1 - f_d) \cdot b \cdot \Theta_x) / ((1 + b \cdot \Theta_x) \cdot Y \cdot (S^0 - S)) / MLVSS(Xv)$$

Teniendo el valor del tiempo de retención hidráulico podemos obtener la relación de este con el Tiempo de reacción de la masa, expresado como Θ_x / Θ .

Con los datos recopilados hasta ahora, podemos despejar el volumen final que deberá tener nuestro estanque de lodos activados utilizando el tiempo de retención hidráulico y el caudal que deberá soportar nuestro estanque.

Fórmula 34

$$V \text{ (volumen en m}^3\text{)} = \Theta \text{ (días)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/días)}$$

Posteriormente se determinó la cantidad de bacterias activas en el reactor (X_a), con la intención de compararlas con las bacterias inactivas (ósea los sólidos volátiles en el licor de mezcla MLVSS (X_v)) con la finalidad de corroborar que con las condiciones del reactor sean mayores las bacterias activas que inactivas

Fórmula 35

$$X_a = (\Theta_x / \Theta) * Y * (S^0 - S) / (1 + b * \Theta_x)$$

Otros parámetros necesarios de calcular son los sólidos inorgánicos contenidos en la biomasa ($MLSS_b$) y en el influente ($MLSS_i$), pues estos están presentes en el agua, pero al ser de naturaleza inorgánica estos no se degradan en el proceso.

Fórmula 36

$$MLSS_b = MLVSS (X_v) * (10/90)$$

Fórmula 37

$$MLSS_i = SS_i^0 * (\Theta_x / \Theta)$$

Con estos parámetros se permite calcular la cantidad total de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (sumando todas las variantes de MLSS) y de igual forma que en el proceso anterior, verificar la relación entre bacterias activas y masa inorgánica, con la intención de corroborar que esta sea positiva.

Salidas del Reactor

Por concepto, tras el proceso de lodos activados se tienen distintas salidas, partiendo por la salida principal, la cual seguirá con los siguientes procesos del tratamiento, y terminando con la recirculación y la purga de lodos. Para ejemplificar mejor los flujos y poder especificarlos todos se presentarán en un esquema del proceso indicando cada flujo.

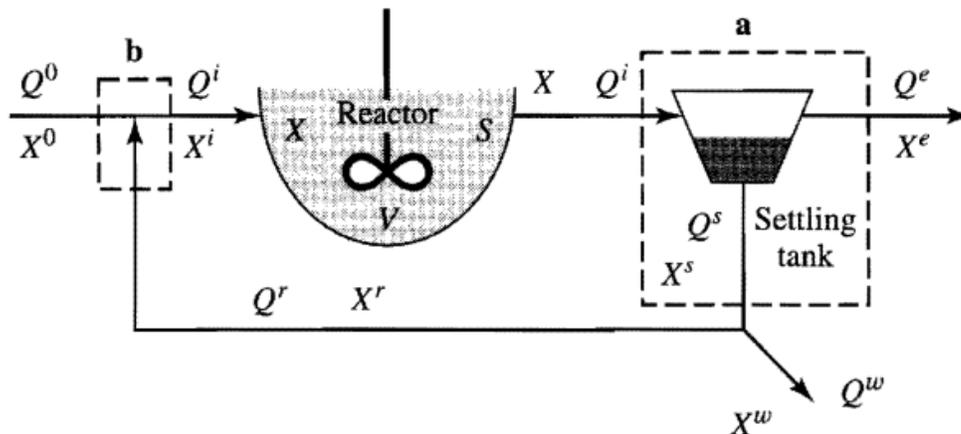


Imagen 15. Esquema procesos lodos activados (Environmental Biotechnology 2001)

Tasa de salida de lodos

Lo que es retirado principalmente en el proceso es materia orgánica y sólidos suspendidos, por lo que de eso se compone la salida de lodos, para calcular este flujo debemos utilizar las siguientes fórmulas:

Fórmula 38

$$\Delta x_a / \Delta t \text{ (flujo de bacterias activas)} = (X_a \cdot V) / \Theta_x$$

$$\Delta x_v / \Delta t \text{ (flujo de bacterias volátiles)} = (V \cdot MLVSS \cdot (X_v)) / \Theta_x$$

$$\Delta x_{ss} / \Delta t \text{ (flujo de solidos suspendidos)} = (MLSS \text{ (total)} \cdot V) / \Theta_x$$

Con estos datos podemos calcular la tasa de biomasa generada biológicamente del reactor, utilizando la siguiente formula:

Fórmula 39

$$\Delta x_v \text{ (biol)} / \Delta t = \Delta x_v / \Delta t \cdot X_i^0 \cdot Q$$

Concentración de sólidos la recirculación y salida del reactor

Lo primero que se debe hacer para calcular estos parámetros es fijar parámetros de funcionamiento, para ser específicos las concentraciones de sólidos volátiles en los caudales de salida y de recirculación, siendo el de salida mucho menor que el que debe ser recirculado, pues al salir de un decantador la salida inferior tendrá mayor cantidad de sólidos.

X_v^e (concentración de sólidos volátiles en salida del reactor): 15 mgVSS/L supuesto según buen funcionamiento de la planta de tratamiento (*Environmental Biotechnology*)

X_v^r (concentración de sólidos volátiles en recirculación del reactor): 10000 mgVSS/L supuesto según buen funcionamiento de la planta de tratamiento (*Environmental Biotechnology*)

Con estos datos, se logra calcular las concentraciones de bacterias activas y sólidos suspendidos tanto para la salida, como para la recirculación, dándonos las siguientes expresiones:

Fórmula 40

$$X_a^e \text{ (bacterias activas en salida)} = (X_a/X_v) * X_v^e$$

$$X_a^r \text{ (Bacterias activas en recirculación)} = (X_a/X_v) * X_v^r$$

$$X_{ss}^e \text{ (sólidos suspendidos en salida)} = X_a^e / X_a/MLSS$$

$$X_{ss}^r \text{ (sólidos suspendidos en recirculación)} = X_a^r / X_a/MLSS$$

De estos parámetros cabe destacar el X_{ss}^e pues este es la concentración de los sólidos suspendidos a la salida del reactor, y este es el último proceso que podría bajar la cantidad de sólidos suspendidos, pues si este factor es mayor al requerido por el decreto 90 la planta de tratamiento de aguas no cumpliría con los parámetros necesarios.

Tasa de purga de lodos

El caudal de purga es la eliminación del exceso de lodos no necesario para el proceso, está formado principalmente por bacterias (activas e inactivas) y sólidos suspendidos, y para calcular su caudal utilizaremos la siguiente fórmula:

Fórmula 41

$$Q_w \text{ (caudal de purga)} = (\Delta x_v / \Delta t - X_{v^e} * Q) / (X_{v^r} - X_{v^e})$$

Tasa de recirculación de lodos

Para calcular el porcentaje de recirculación de lodos, se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula 42

$$R = \text{MLVSS } (X_v) * (1 - \Theta / \Theta_x) / (X_{v^r} - \text{MLVSS } (X_v))$$

Requerimiento de nutrientes

Es importante destacar que como cualquier otro tipo de bacteria, las bacterias presentes en el reactor además de necesitar materia orgánica para consumir, necesitan de otros parámetros importantes para las condiciones de vida óptima, principalmente nitrógeno y fósforo, esto se ve reflejado que en los porcentajes de remoción de los Lodos activados, hay pequeñas cantidades de dichos elementos, pues las bacterias los consumen, para calcular la cantidad mínima de estos nutrientes se utilizarán las siguientes fórmulas:

Fórmula 43

$$r_n \text{ (requerimiento mínimo de nitrógeno al día)} = \Delta x_v(\text{biol}) / \Delta t * 0,124$$

$$r_p \text{ (requerimiento mínimo de fósforo al día)} = r_n * 0,2$$

Fórmula 44

$$N \text{ (concentración mínima requerida de nitrógeno)} = r_n / Q$$

$$P \text{ (concentración mínima requerida de fósforo)} = r_p / Q$$

DBO5 en afluente

Este parámetro (junto con los sólidos suspendidos) es de los más importantes debido a que son los que se retiran en mayores cantidades en el proceso de lodos activos, además son los que tienen concentraciones mayores al inicio del tratamiento. Con los parámetros establecidos y calculados para este proyecto, ya podemos identificar el valor de la concentración de DBO5 al final del tratamiento con la siguiente formula:

Fórmula 45

$$\text{DBO5} = (S \cdot 0,68) + (X_a \cdot e \cdot f_d \cdot 1,42 \cdot 0,4)$$

Tasa de suministro de oxígeno

Además de nutrientes como el Nitrógeno, Fosforo y materia orgánica, las bacterias necesarias para el proceso necesitan respirar, por lo que un suministro eficiente de oxígeno es muy importante, por lo que se calculara tanto el flujo necesario por día de oxígeno, como la potencia necesaria para obtenerlo.

Primero se determinó el valor del FOTE (eficiencia de transferencia de oxígeno), el cual para este caso es de 1 kg de O₂/Kwh.

Fórmula 46

$$\Delta \text{SO}_2 / \Delta t = Q \cdot 1000 \cdot (S^0 - S + 1,42 \cdot (X_i^0 - \text{MLVSS}) \cdot X_v \cdot \text{Theta} \cdot \Theta / \Theta_x)$$

Fórmula 47

$$P \text{ (potencia)} = \Delta \text{SO}_2 / \Delta t / 1000000 / \text{FOTE} / 24$$

5. Resultados

5.1 Especificaciones de la planta

Lo primero que debemos analizar al momento de trabajar con esta planta de tratamiento son todos los datos disponibles con los que contamos, que serían:

Tabla 6: Datos conocidos para la construcción de la planta. (Memoria d calculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)

Parámetro	Valor	Unidad
Población máxima	2500	Habitantes
Dotación	173	l/ hab./dia
Factor de recuperación	0,8	
Caudal medio máximo	346	m ³ /día
Caudal Máximo horario	32,4	m ³ /h
Aporte de carga orgánica	45,0	g DBO5/persona/día
Materia orgánica entrante	113	Kg DBO5/día
Temperatura	15	°C
Altitud geográfica	< 1.000	m.s.n.m.

5.1.1 Tanque aeróbico

Para conocer el volumen que deberá tener Nuestro tanque aeróbico, debemos utilizar la fórmula de Relación de Alimento considerando la cantidad de microorganismos, la cual se expresa de la siguiente forma:

$$A/M = [DBO5 / (SSVLM*V)] * 1.000$$

En esta fórmula el valor que nos interesa es el Volumen, por lo que debemos fijar el resto de los factores. Para una planta de aireación extendida la relación de Alimento entre Microorganismos varía entre 0,05 y 0,15, por lo que seleccionaremos un valor de 0,12 de manera que podamos operar desde una forma conservadora, además

de un valor de SSVLM de 3.500 mg/L. Por lo que el Volumen del tanque aeróbico tendría un valor de 270 m³

Si analizamos la planta de tratamiento de aguas servidas Aguasin modelo LA-1790-E, que es la actualmente está en funcionamiento en Isla de Maipo, podemos verificar que cuenta con un volumen de 293 m³, siendo conformada por dos estanques de aireación rectangulares de fondo plano con las siguientes dimensiones:

Tabla 7: -Medidas de los tanques de aireación. (Memoria d calculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)

Dimensión	Valor
Largo útil	12,4 m
Ancho útil	3,7 m
Alto útil	3,7 m
Revancha	0,4 m
Alto total	4,1m

Con este volumen se puede verificar que la razón de A/M calce dentro de los estándares habituales para una planta de tratamiento de aguas por aireación extendida, resultando en un valor de 0,11, el cual está dentro de los valores establecidos.

Para calcular la edad de los lodos, tenemos una fórmula directa, la cual quedaría expresada de la siguiente forma:

$$EL = (SSVLM * V/1.000)/[Y * DBO5 - (SSVLM * V * b/1.000)]$$

Donde consideramos Y=0,68 g SSV / g DBO5; b= 0,04 1/día, por lo que obtenemos una edad de lodos de 28 días, lo que es un valor habitual en plantas de tratamiento de agua por aireación extendida.

5.1.2 Estanque de sedimentación

Para garantizar la calidad y claridad a la salida de la planta de tratamientos, las tasas de sedimentación y cargas de sólidos no deben superar ciertos valores establecidos. Por lo que se debe calcular si los valores reales de la planta no ameritan medidas de control extras para el control de flujos, que complementen a los propios sedimentadores.

- Tasa de sedimentación para el caudal medio diario (TSQMED)

Se necesita una tasa de sedimentación menor a $16 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$, considerando el caudal medio diario. El modelo LA-1790-E tiene un estanque de sedimentación que consta de 2 tolvas en serie, las que suman una superficie total de $27,38 \text{ m}^2$, por lo que la tasa de sedimentación para el caudal medio diario se expresa de la siguiente forma:

$$\text{TSQMED} = 346 (\text{m}^3/\text{día}) / 27,38 (\text{m}^2) = 12 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$$

Resultando en una tasa de sedimentación para el caudal medio diario de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$, valor que está por debajo de los 16 requeridos.

- Tasa de sedimentación para el caudal máximo (TSQMAX)

Se necesita una tasa de sedimentación menor a $32 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$, considerando el caudal máximo. El caudal máximo que recibirá la planta es de $32,4 \text{ m}^3/\text{h}$ lo cual significa $777,6 \text{ m}^3/\text{día}$, por lo que considerando la superficie del estanque la tasa de sedimentación para el caudal máximo se expresa de la siguiente forma:

$$\text{TSQMAX} = 777,6 (\text{m}^3/\text{día}) / 27,38 (\text{m}^2) = 28,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$$

El resultado es una tasa de sedimentación para el caudal máximo de $28,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$, valor que está por debajo de los 32 requeridos.

- Carga de sólidos para el caudal medio diario (CSQMED)

Se necesita una carga de sólidos para el caudal medio diario menor que $5 \text{ Kg SST}/\text{m}^2\cdot\text{h}$, considerando el caudal medio diario. Si suponemos $\text{SSVLM} / \text{SST} = 0,8$; tenemos la siguiente expresión:

$$\text{CSQMED} = \frac{346 \text{ (m}^3\text{/día)} * 3,5 \text{ (Kg SSVLM/m}^3\text{)}}{24 \text{ (h/día)} * 0,8 \text{ (SSVLM/SST)} * 27,38 \text{ (m}^2\text{)}} = 2,3\text{KgSST/m}^2\text{*h}$$

Resultando en una carga de sólidos para el caudal medio diario de 2,3KgSST/m²*h; valor por debajo de los 5kg requeridos.

- Carga de Sólidos para el caudal máximo (CSQMAX)

Se necesita una carga de solidos menor a 7,0 Kg SST/m²*h, considerando el caudal máximo. Si nuevamente consideramos SSVLM / SST = 0,8; obtenemos la siguiente expresión:

$$\text{CSQMAX} = \frac{32,4 \text{ (m}^3\text{/h)} * 3,5 \text{ (Kg SSVLM/m}^3\text{)}}{0,8 \text{ (SSVLM/SST)} * 27,38 \text{ (m}^2\text{)}} = 5,2 \text{ Kg SST/m}^2\text{*h}$$

Resultando en una carga de sólidos para el caudal máximo de 5,2 Kg SST/m²*h, valor por debajo de los 7,0 requeridos.

5.1.3 Caudales y equipo de impulsión de aire

La planta de tratamiento de aguas considera aireación para 3 zonas del sistema, las cuales serían: Estanques de aireación, Estanques de sedimentación y estanques de Digestión.

El aire será entregado mediante un grupo de Motobombas de desplazamiento positivo, además de sus respectivas unidades de reserva (que consta de motor eléctrico, un soplador de lóbulos, tipo Roots, y el correspondiente sistema de acople y transmisión), cañerías de acero al carbono recubiertas de pintura epóxica o acero galvanizado y difusores de membrana de burbuja fina para el tanque de aireación y digestión. Los consumos de aire para cada zona serian:

- Estanque de aireación.

Para calcular la cantidad de oxígeno requerida en el tanque de aireación, necesitaremos los siguientes datos: Caudal (Q) 346 m³/día; DBO₅ entrada (S_o) 350 mg/l y DBO₅salida (S) 35,0 mg/l. Además, siendo MO₂ La demanda de masa de

oxígeno en el tanque de aireación, considerando la relación de kilogramos de oxígeno por Kilogramos de DBO₅ Retirados que corresponde a 2,0 KgO₂/KgDBO₅, tenemos que:

$$MO_2 = 2,0 \text{ (KgO}_2\text{/KgDBO}_5\text{)} * Q * ((S_o - S)/1.000/0,68) \text{ (KgDBO}_5\text{/día)} = 320 \text{ (KgO}_2\text{/día)}$$

Al dividir el resultado de la demanda de masa de oxígeno en la cantidad de horas que funciona la planta, obtenemos la cantidad de oxígeno disuelto:

$$MO_2 = 320 \text{ (KgO}_2\text{/día)} / 18 \text{ (h/día)} = 17 \text{ KgO}_2\text{/h}$$

- Determinación de la eficiencia de transferencia de oxígeno en terreno (EO₂T) para el tanque de aireación.

El oxígeno será distribuido a través de aire impulsado por sopladores de desplazamiento positivo y difusores de burbuja fina, para calcular la eficiencia de este proceso en terreno, debemos utilizar la relación entre la eficiencia de transferencia de oxígeno en condiciones de terreno y condiciones normales:

$$EO_{2T} / EO_{2N} = \alpha * (\theta^{t-20} * C_{sc} - C) * \sqrt{(t-20)} / C_s$$

Donde utilizaremos los siguientes datos:

$$\alpha = 0,65 \text{ (dato del fabricante de difusores, marca EnviroQuip, modelo FlexDisc)}$$

$$\theta = 0,95 \text{ (dato del fabricante de difusores, marca EnviroQuip, modelo FlexDisc)}$$

$$\sqrt{} = 1,024$$

$$C_s = 9,17 \text{ mg/l}$$

$$C = 2,0 \text{ mg/l (concentración de oxígeno disuelto en los estanques de aireación)}$$

$$C_{st} = 10,03 \text{ mg/l (a } 15 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Dándonos un una eficiencia final de $EO_{2T}/EO_{2N} = 0,47$

- Determinación de la cantidad de aire para el estanque de aireación.

El modelo LA-1790-E está integrado con 180 difusores marca EnviroQuip, modelo FlexDisc en el estanque de aireación, teniendo 3,7 m de agua sobre los difusores. Debido a que la eficiencia de transferencia del difusor depende del caudal de cada uno, se establecerá un caudal por difusor y con este calcularemos la eficiencia, para luego determinar la eficiencia en terreno, el caudal total y por último verificar si el caudal por difusor establecido es correcto.

Si suponemos un caudal por difusor de 2,8 m³/h se tendrá una eficiencia de 6,9 %/m.c.a., que si consideramos la altura de agua se transforma en 25,54 %, que es nuestro EO₂N. Debido a que anteriormente ya calculamos la relación entre EO₂T/EO₂N y ya tenemos el valor de EO₂N podemos calcular la eficiencia de la transferencia de oxígeno en condiciones de terreno, resultando en:

$$EO_{2T} = 0,47 * 25,5 = 12 \%$$

Utilizando los valores de masa oxígeno requerida y la eficiencia calculada podemos determinar el caudal total y por difusor para la planta, que quedaría expresada de la siguiente forma:

$$Q_{aire} = \frac{MO_2 * 100}{0,232 (KgO_2/KgAire) * 1,205 (KgAire/m^3Aire) * EO_{2T}} = 506 \text{ m}^3\text{Aire/h}$$

Si dividimos el caudal total por la cantidad de difusores con las que cuenta el estanque nos da un valor total de 2,8 m³ Aire/hora por difusor, valor que concuerda con el establecido anteriormente.

- Estanque de digestión.

Para que se mantengan las condiciones aeróbicas y más importante, para asegurar la agitación dentro del estanque de digestión, se requiere administrar 1,8 m³/h por cada m³ de estanque, por lo que al haber 32,86 m³ de estanque de digestión se debe suministrar 59 m³Aire/h en total para un correcto funcionamiento. Esta planta cuenta con 23 difusores de burbuja fina, por lo que el caudal por difusor terminaría siendo 2,5 m³Aire/h.

- Estanques de sedimentación.

El sistema utilizado para la recirculación de lodos desde la etapa 2 del proceso hacia la etapa 1 es un sistema Venturi accionado por aire, este sistema requiere un caudal de 85,4 m³Aire/h para funcionar correctamente.

- Cantidad de aire para toda la planta.

Para calcular el Caudal total de aire para la planta LA-1790-E se deberá sumar lo necesario para cada una de sus etapas, dándose el siguiente resultado:

$$Q_{\text{aire}} = (506 + 59 + 85,4) = 650 \text{ m}^3\text{Aire/h}$$

Este Caudal de aire debe ser elevado a una presión de 8 PSI, debido a que debe vencer la columna de agua y compensar las pérdidas de carga durante toda la línea de distribución, para esto se instalaran dos grupos de motobombas, uno para el funcionamiento constante y otro como reserva, cada grupo contara con: un soplador marca Dresser Roots, modelo URAI-56, un motor Marathon Electric de 20 Hp y un sistema de acople y transmisión compuesto por poleas y correas.

5.1.4 Generación de lodos

Para calcular la producción de lodos durante el tratamiento se debe considerar la relación 0,3 kilogramos de lodo seco por cada kilogramo de DBO₅ retirado, por lo que al expresarlo se obtiene:

$$\text{Masa Lodo Seco} = 0,30 * 346 \text{ m}^3/\text{día} * (350 - 35) \text{ DBO}_5/1.000$$

$$\text{Masa lodo Seco} = 33 \text{ Kg Lodo Seco/ día}$$

Volumen de lodo descartado

Para definir el volumen de lodo descartado debemos retirar del estanque, se supondrá que el sedimentador contiene un 1% de lodo solido seco y que la densidad de este es 1,03

$$\text{Volumen Lodo Descartado} = 33/(1,03 * 1.000 * 0,01) = 3 \text{ m}^3/\text{día}$$

5.1.5 Desinfección

Para prevenir cualquier tipo de contaminación bacteriológica, posterior a la etapa de sedimentación se agregará hipoclorito de sodio al agua tratada, para realizar un proceso de cloración. Para obtener la cantidad de cloro deseado, se estima un valor medio de 5 mg/l (ppm) de materia.

Para asegurar una reacción completa del Hipoclorito de sodio, se adicionará al comienzo del estanque de desinfección durante un periodo mínimo de retención de media hora, considerando el caudal medio diario, lo que implica que el estanque deberá tener el siguiente volumen mínimo:

$$V \text{ útil} = 346 \text{ m}^3/\text{día} / (24 \text{ horas} * 2) = 7,2 \text{ m}^3$$

Considerando el volumen de 7,2 m³, se considerarán las siguientes medidas para el estanque:

Tabla 8: Dimensiones del estanque de desinfección. (Memoria d calculo planta de tratamiento de aguas Gacitúa 2005)

Dimensión	Valor
Largo útil	1,38 m
Ancho útil	3,7 m
Alto útil	2,06 m
Alto total	2,13 m

Con estas dimensiones y con la cantidad correcta de hipoclorito de sodio se espera que, a la salida de la planta, los coliformes fecales sean menores a 1.000 NMP/100 ml.

5.2 Proyección de población

Como se pudo apreciar en el estudio de la población actual, la capacidad máxima de la planta ya está superada, pues la planta fue diseñada para una población de 2.500 personas y actualmente la población de sector Gacitúa es de 2.656 personas

(INE – 2017), sin considerar el crecimiento de la población para los siguientes años de funcionamiento. La edad de una planta de tratamientos de aguas debe ser al menos de 20 años por lo que si se quiere proyectar a futuro esta planta, se debe hacer lo mismo con su población, por lo que nuevamente se utilizaran datos del censo de Isla de Maipo.

Tabla 9: Población de Isla de Maipo según los últimos censos. (INE 2017)

Año del Censo	Población
1982	17.207
1992	20.344
2002	25.798
2017	36.219

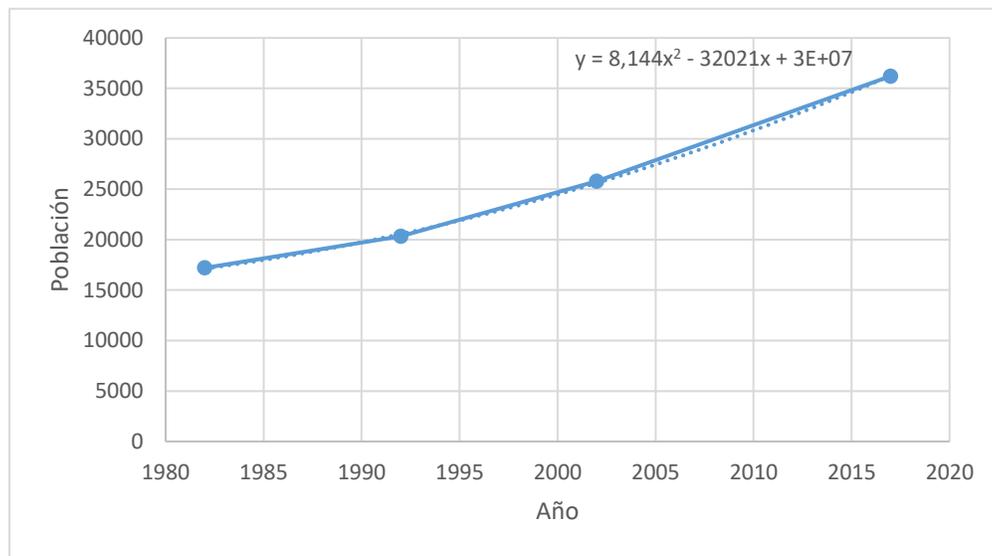


Gráfico 1. Aumento de la población de Isla de Maipo en los últimos 37 años. (Elaboración propia)

Gracias a este gráfico y su respectiva ecuación se puede proyectar la población hasta el 2037, siendo los 20 años necesarios para que la planta de tratamiento de aguas tenga la vida útil correspondiente, dándonos un valor de 79.682 habitantes para la comuna, si esta misma lógica se aplica al sector Gacitúa, debido a que según el gráfico, la comuna muestra una tasa de crecimiento anual de un 6% en los últimos 35 años, por lo que aplicando este porcentaje de crecimiento para el 2037 el sector Gacitúa contaría con una población total de 5843 habitantes

5.3 Proyecciones de dotación.

Considerando la proyección de la población del sector que hace uso de la planta de tratamiento de aguas, fijando un consumo de 173 L/hab*día, y utilizando el factor de recuperación previamente fijado en 0,8, utilizando la fórmula 1 se obtiene el caudal para el que necesita estar preparada la planta.

$$\text{Caudal} = 173 \text{ (L/hab*día)} * 5843 \text{ (hab)} * 0,8$$

$$\text{Caudal} = 808.671 \text{ L/día}$$

Con el valor del caudal de entrada a la planta podemos realizar los flujos para cada contaminante, para de esta forma realizar el balance de masa para toda la planta. Las concentraciones de contaminantes al encontrarse en mg/L, al multiplicarse por el caudal, permiten trabajar en unidad de flujo mg/día, con lo cual se obtienen los siguientes flujos.

Tabla 10. Dotación de la planta para la población máxima (Elaboración propia)

Contaminante	Cantidad	Unidad
Solidos Suspendidos	222.385	mg/día
DBO5	222.385	mg/día
Nitrógeno org.	40.434	mg/día
Amoniaco	25.271	mg/día
Fosforo	8.087	mg/día
Cloruros	50.542	mg/día
Sulfatos	30325	mg/día
Alcalinidad	101.083	mg/día
Aceites y grasas	101.083	mg/día
Coliformes totales	10 ⁸	n/100ml

5.4 Diseño de la propuesta de mejora

5.4.1 Barra de rejas

Lo primero que se debe calcular para conocer las especificaciones de nuestra barra de rejas es el área del canal, utilizando la fórmula 2:

$$A = 0,00935 \text{ m}^3/\text{s} / 0,45 \text{ m/s} = 0,021 \text{ m}^2$$

Posteriormente se obtuvo el tirante hidráulico, utilizando la fórmula 3:

$$h = 0,021 \text{ m}^2 / 0,5 \text{ m} = 0,042 \text{ m}$$

Lo siguiente es calcular la suma de la separación entre barras, obteniéndola de la fórmula 4:

$$Bg = ((0,5 \text{ m} - 0,025 \text{ m}) / (0,05 \text{ m} + 0,025\text{m}) + 1) * 0,025 \text{ m} = 0,183 \text{ m}$$

Lo siguiente a calcular será el área de espacio entre rejas, para lo cual se debe calcular previamente el largo de las rejas, por lo que se utilizaran las fórmulas 5 y 6:

$$H = 0,042 \text{ m} / \text{sen} (40) = 0,065 \text{ m}$$

$$AE = 0,065 \text{ m} * 0,183 \text{ m} = 0,012 \text{ m}^2$$

Posteriormente se calculó la velocidad del agua entre espacios, por lo que se utilizara la fórmula 7:

$$VE = 0,00935 \text{ m}^3/\text{s} / 0,012 \text{ m}^2 = 0,79 \text{ m/s}$$

Con todos estos datos se calculó la cantidad de rejas necesarias para este canal, utilizando la fórmula 8:

$$n = (0,183 \text{ m} / 0,025 \text{ m}) - 1 = 6,33$$

Como se comentó anteriormente el número de rejas siempre debe redondeado hacia arriba, pues no se pueden tener decimales de reja, por lo que para este caso son necesarias 7 rejas.

A modo de resumen las especificaciones que tendrá nuestra barra de rejas serán las siguientes:

Tabla 11: Especificaciones de la barra de rejas. (Elaboración propia)

Característica	Valor	Unidad
Pendiente	40	°
Espesor	0,05	m
Separación	0,025	m
Ancho del canal	0,5	m
Velocidad reja limpia	0,45	m/s
Área del canal	0,021	m ²
Tirante hidráulico	0,042	m
Área de separación	0,012	m ²
Velocidad entre rejas	0,79	m/s
Numero de rejas	7	Barras

5.4.2 Desengrasador

El primer parámetro que se calculó para Desengrasador será el volumen del tanque, utilizando la fórmula 9:

$$V = 0,0094 \text{ m}^3/\text{s} * 900 \text{ s} = 8,42 \text{ m}^3$$

Posteriormente y para avanzar en los cálculos, se calculó el coeficiente punta, para determinar el caudal punta, por lo que se utilizaron las fórmulas 10 y 11:

$$\text{Coeficiente punta} = 9 * \ln (5843)^{0,1} + 13,3 = 24,74$$

$$Q_p = 0,0094 \text{ m}^3/\text{s} * 24,74 = 0,231 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lo siguiente a calcular será el área superficial del estanque, por lo utilizaremos la fórmula 12:

$$A_s = 883 \text{ m}^3/\text{h} / 39\text{m}/\text{h} = 21,37 \text{ m}^2$$

Posteriormente se calculó el área transversal del estanque, utilizando la fórmula 13:

Fórmula 13

$$At = 0,231 \text{ m}^3/\text{s} / 0,05 \text{ m/s} = 4,63 \text{ m}^2$$

Teniendo el valor de ambas áreas, se calcularon los parámetros para el desengrasador, utilizando las fórmulas 14, 15 y 16:

$$\text{Ancho} = 8,42 \text{ m}^3 / 4,63 \text{ m}^2 = 1,82 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = 8,42 \text{ m}^3 / 21,37 \text{ m}^2 = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 8,42 \text{ m}^3 / (0,4 \text{ m} * 1,82 \text{ m}) = 11,75 \text{ m}$$

Considerando para la profundidad un borde libre para la profundidad de 0,5 la profundidad final se redondea a 1 m.

Para considerar una ampliación del desarenador para la zona de desengrasado, a la longitud del estanque se le debe sumar 1/3 de la misma longitud, por lo que la longitud total del estanque se calculó con la fórmula 17:

$$\text{Longitud total} = 11,75 \text{ m} + (11,75 \text{ m} / 3) = 15,6 \text{ m}$$

Para calcular la cantidad de aire que se debe suministrar se utilizara la fórmula 18:

$$\text{Aire} = 1 \text{ m}^3 \text{ aire/h} * \text{m}^3 * 8,42 \text{ m}^3 = 8,42 \text{ m}^3 \text{ aire} / \text{h}$$

A modo de resumen, las especificaciones que debe tener nuestro Desarenador – desengrasador serán las siguientes:

Tabla 12: Especificaciones del desarenador. (Elaboración propia)

Característica	Valor	Unidad
Volumen	8,42	m ³
Ancho	1,82	m
Profundidad total	1,0	m
Longitud total	15,6	m
Aire	8,42	m ³ aire / h

Y tras restar el porcentaje de remoción de aceites y grasas, que en este caso será de 85%, obtenemos el siguiente caudal de salida:

Tabla 13: Caudal de contaminantes al salir del desarenador - desengrasador. (Elaboración propia)

Contaminante	Cantidad	Unidad
Solidos Suspendidos	222.385	mg/día
DBO5	222.385	mg/día
Nitrógeno org.	40.434	mg/día
Amoniaco	25.271	mg/día
Fosforo	8.087	mg/día
Cloruros	50.542	mg/día
Sulfatos	30325	mg/día
Alcalinidad	101.083	mg/día
Aceites y grasas	12.130	mg/día
Coliformes totales	10 ⁸	n/100ml

5.4.3 Sedimentador Primario

Al ser el primer proceso donde se retiran cantidades significativas de contaminantes, el caudal de entrada es el mismo que antes del enrejado, y tras aplicar los porcentajes de eliminación de contaminantes resulta en el siguiente caudal de salida:

Tabla 14: Caudal de contaminantes al salir del sedimentador primario. (Elaboración propia)

Contaminante	Cantidad	Unidad
Sólidos Suspendidos	100.073	mg/día
DBO5	144.149	mg/día
Nitrógeno org.	34.368	mg/día
Amoniaco	25.270	mg/día
Fosforo	6.873	mg/día
Cloruros	50.542	mg/día
Sulfatos	30325	mg/día
Alcalinidad	101.083	mg/día

Aceites y grasas	12.130	mg/día
Coliformes totales	10 ⁸	n/100ml

De este sedimentador se extrae una cantidad de lodo que consiste en la suma de todos los contaminantes eliminados por el proceso, siendo la suma de los porcentajes de extracción de DBO, Sólidos suspendidos totales, Fosforo y Nitrógeno Orgánico. Lo que nos da un valor total de 207.4 kilogramos de lodo por día.

Para dimensionar el volumen que tendrá el sedimentador primario, lo primero a calcular fue el Área superior de este, por lo que se utilizara la fórmula 19:

$$\text{Área} = 808,671 \text{ m}^3/\text{día} / 32,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d} = 24,88 \text{ m}^2$$

Con esta área, se estimó el diámetro del cilindro del sedimentador, por lo que se utilizara la fórmula 20:

$$D = 2 * \sqrt{(24,88 \text{ m}^2 / 3,1415)} = 5,62 \text{ m}$$

Con los parámetros fijados y calculados, se puede calcular el primero de los volúmenes que compone el volumen total del sedimentador, siendo el Volumen del cilindro, el cual se calcula con la fórmula 21:

$$V \text{ cilindro} = (3,4 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) * 24,88 \text{ m}^2 = 97,04 \text{ m}^3$$

Tras calcular el volumen de la parte cilíndrica del sedimentar, se continuó calculando el volumen de la parte cónica, por lo que se utilizara la fórmula 22:

$$V \text{ cono} = (3,1415/12) * 1,5 \text{ m} * (5,62 \text{ m}^2 + (5,62 \text{ m} * 1,5 \text{ m}) + 1,5^2) = 16,64 \text{ m}^3$$

Con estos dos valores y posteriormente sumándolos obtenemos el valor que debe tener nuestro sedimentador primario para que el tratamiento se realice de manera óptima, siendo este valor 113,68 m³. Además, como valor operacional, y como indicador, se calculara el tiempo de retención hidráulico para este sedimentador, siendo de suma importancia que este no debe ser mayor a 4 horas, pues según

Metcalf y Eddie, este es el tiempo máximo que debería tener este proceso, para calcular este valor se utilizara la fórmula 23:

$$TR = 113,68 \text{ m}^3 / 808,671 \text{ m}^3/\text{día} = 0,140577 \text{ días} = 3,374 \text{ horas}$$

A modo de resumen las dimensiones específicas del tanque a construir serán las siguientes:

Tabla 15: Dimensiones del sedimentador primario. (Elaboración propia)

Dimensión	valor	Unidad
Tiempo de retención	3,374	Horas
H cilindro	3,9	m
H cono	1,5	m
H total	5,4	m
Diámetro superior	5,62	m
Diámetro inferior	1,5	m

5.4.4 Cloración

Para el cálculo del volumen del estanque de lodos, se utilizó la fórmula 24:

$$0,5 \text{ h} = V / (808,671 \text{ m}^3/\text{d} / 24)$$

$$V = 16,85 \text{ m}^3$$

Conociendo el volumen que debe tener el estanque de lodos y con la relación de largo: ancho = 1:6 – 1:10, podemos fijar las especificaciones de este mismo, siendo:

Tabla 16: Dimensiones del estanque de cloración. (Elaboración propia)

Dimensión	Valor
Largo	10 m
Ancho	1 m
Alto Útil	1,7 m
Alto real	2,2 m

Al alto útil, el cual es el necesario para que todo el caudal de agua a tratar quepa en el reactor, se le suma una altura adicional de 0,5 m de borde libre, dándonos un volumen final de 22 m³

Este volumen total está pensado para ser un estanque largo con la siguiente forma:

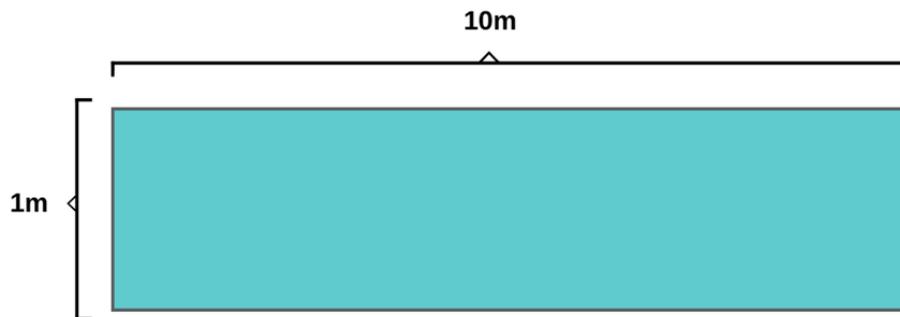


Imagen 16. Estanque de cloración. (Elaboración propia)

Pero pensando en el ahorro de espacio, se plantea utilizar la siguiente disposición del estanque, utilizando barreras para frenar el agua y distribuir de una manera eficiente el caudal a tratar.

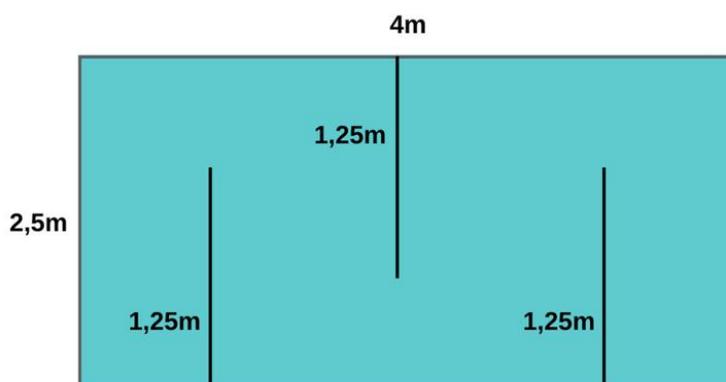


Imagen 17. Redistribución del estanque de cloración. (Elaboración propia)

Con esta distribución se obtiene un tanque mucho más compacto, el cual cumple con los requisitos, pues el agua a tratar tiene un recorrido de 10 m dentro del tanque, las dimensiones finales del estanque serían:

Tabla 17: Dimensiones tras la distribución. (Elaboración propia)

Dimensión	Valor
Largo	4 m
Ancho	2,5 m
Alto	2,2 m
Barras	1,25 m

Para calcular la cantidad de cloro necesaria lo primero será calcular el peso necesario, para la demanda se utilizó un valor promedio entre los mínimos y máximos mencionados anteriormente, todo esto expresado en la fórmula 25:

$$W = 0,6 \text{ mg/L} * 9,35 \text{ L/s} = 5,61 \text{ mg/s}$$

Para calcular el flujo que debe tener el hipoclorito de sodio de concentración 70 mg/L en nuestro estanque de cloración se utilizara la fórmula 26:

$$Q \text{ cloro} = 5,61 \text{ mg/s} / 70 \text{ mg/L} = 0.08 \text{ L/s}$$

5.4.5 Lodos activados.

Este proceso ocurre inmediatamente después del sedimentador primario por lo que su caudal de entrada tiene la misma composición que el caudal de salida del sedimentador primario.

El primer paso será fijar las características del afluente al proceso:

$$Q \text{ (caudal calculado previamente)} = (808.671 \text{ L/día}) / 1000 = 808,671 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$S^0 \text{ (Concentración afluente DBO)} = 220 \text{ mgDBO/L}$$

$$Xa^0 \text{ (Concentración afluente de biomasa activa)} = 0 \text{ mgVSS/L}$$

$$Xi^0 \text{ (Concentración afluente de biomasa inerte)} = 50 \text{ mgVSS/L}$$

$$SSi^0 \text{ (Concentración afluente de sólidos inorgánicos)} = 20 \text{ mgSS/L}$$

Posteriormente, utilizando la fórmula 27, obtenemos la carga volumétrica de DBO:

$$Q \cdot S^0 = (808,671 \text{ m}^3/\text{día}) * (220 \text{ mgDBO/L}) / 1000 / V * 0,68$$

(Al depender del valor del volumen del estanque, la fórmula 27 se analizará más adelante)

Utilizando los parámetros estequiométricos fijados anteriormente, se obtienen los valores del tiempo mínimo para el tratamiento y la concentración mínima de DBO, utilizando la fórmula 28 y 29:

$$(\theta X_{\min})_{\lim} = 1 / (0,4 \text{ mgVSS/mgDBO} * 10 \text{ mgDBO/mgVSS} \cdot \text{d}) - 0,1 \text{ 1/d}$$

$$(\theta X_{\min})_{\lim} = 0,256 \text{ d}$$

$$S_{\min} = 0,256 \text{ d} * 10 \text{ mgDBO/L} * 0,1 \text{ 1/d} = 0,256 \text{ mgDBO/L}$$

A continuación, se calcularon los parámetros no fijados en la sección anterior para el diseño de la planta, como lo son: la cantidad de bacterias inertes y vivas, relación comida microorganismos y concentración a la salida del reactor de DBO. Todo esto utilizando las fórmulas 30, 31,32:

$$MLVSS (Xv) = 0,8335 * 3.000 \text{ mgSS/L} = 2501 \text{ mgVSS/L}$$

$$F/mv = (808,671 \text{ m}^3/\text{d}) * 1000 * (220 \text{ mgDBO/L}) * 0,68 / V \text{ m}^3 / 1000 / 2501 \text{ mgSS/L}$$

(Al depender del valor del volumen del estanque, la fórmula 32 se analizará más adelante)

$$S = 10 \text{ mgDBO/L} * (1 + 0,1 \text{ 1/d} * 5\text{d}) / (5 \text{ d} * (0,4 \text{ mgVSS/mgDBO} * 10 \text{ mgDBO}/(\text{mgVSS} \cdot \text{d}) - 0,1 \text{ 1/d}) - 1)$$

$$S = 0,81 \text{ mgDBO/L}$$

Con los parámetros fijados y calculados previamente, se puede obtener el tiempo de retención hidráulico con la fórmula 33:

$$\text{Theta } \Theta = 5\text{d} * (50 \text{ mgVSS/L} + (1 + (1 - 0,8) * 0,1 \text{ 1/d} * 5\text{d}) / (1 + 0,1 \text{ 1/d} * 5\text{d}) * 0,4 \text{ mgVSS/mgDBO}) * (220 \text{ mgDBO/L} - 0,81 \text{ mgDBO/L}) / 2501 \text{ mgVSS/L}$$

$$\text{Theta } \Theta = 0,23 \text{ d}$$

$$\Theta_x / \Theta = 5\text{d} / 0,23\text{d} = 21,9$$

Con estos datos, se logra calcular el volumen final del reactor, utilizando la fórmula 34:

$$V = 0,23 \text{ d} * 808,671 \text{ m}^3/\text{día} = 185 \text{ m}^3$$

Teniendo el valor del volumen se puede volver a las fórmulas 27 y 31, obteniendo:

$$Q * S^0 = (808,671 \text{ m}^3/\text{dia}) * (220 \text{ mgDBO/L}) / 1000 / 185 \text{ m}^3 * 0,68$$

$$Q * S^0 = 0,65 \text{ kgDBO5/m}^3\text{d}$$

$$F/mv = (808,671 \text{ m}^3/\text{d}) * 1000 * (220 \text{ mgDBO/L}) * 0,68 / 185 \text{ m}^3 / 1000 / 2501 \text{ mgSS/L}$$

$$F/mv = 0,26$$

A continuación, se calculó la cantidad de bacterias activas en el reactor, utilizando la fórmula 35, con la intención de compararlas con las inactivas, para cerciorarse de que el número de bacterias activas es mayor.

$$X_a = 21,9 * 0,4 \text{ mgVSS/mgDBO} * (220 \text{ mgDBO/L} - 0,81 \text{ mgDBO/L}) / (1 + (0,1 \text{ 1/d} * 5\text{d}))$$

$$X_a = 1279 \text{ mgVSS/L}$$

$$X_a/X_v = 1279 \text{ mgVSS/L} / 2501 \text{ mgVSS/L} = 0,51 \text{ mgVSSa/mgVSS}$$

Posteriormente se calcularon los sólidos inorgánicos en la biomasa e influente, para posteriormente determinar los sólidos inorgánicos totales y la relación con las bacterias activas, con la intención de corroborar que esta sea positiva, estos cálculos se realizaron utilizando las fórmulas 36 y 37.

$$\text{MLSS}_b = 2501 \text{ mgVSS/L} (10/90) = 278 \text{ mgSS/L}$$

$$\text{MLSS}_i = 20 \text{ mgSS/L} * 21,9 = 438 \text{ mgSS/L}$$

$$\text{MLSS (total)} = 2501 \text{ mgVSS/L} + 278 \text{ mgSS/L} + 438 \text{ mgSS/L} = 3216 \text{ mgSS/L}$$

$$X_a/\text{MLSS} = 0,4$$

Se continuó calculando los flujos de salida de lodos del proceso de lodos activados, para esto se utilizó la fórmula 38, cabe destacar, que este lodo está compuesto principalmente por: bacterias activas, bacterias volátiles y sólidos suspendidos, por lo que obtenemos los siguientes flujos:

$$\Delta x_a/\Delta t = (1279 \text{ mgVSS/L} * 185 \text{ m}^3 * 1000) / 5\text{d} = 4,73 * 10^7 \text{ mgVSSa/d}$$

$$\Delta x_v/\Delta t = (2501 \text{ mgVSS/L} * 185 \text{ m}^3 * 1000) / 5\text{d} = 9,24 * 10^7 \text{ mgVSS/d}$$

$$\Delta x_{ss}/\Delta t = (3216 \text{ mgSS/L} * 185 \text{ m}^3 * 1000) / 5\text{d} = 1,19 * 10^8 \text{ mgSS/d}$$

Con estos datos se puede calcular la tasa de biomasa generada biológicamente del reactor, utilizando la fórmula 39:

$$\Delta x_v (\text{biol})/\Delta t = 9,24 * 10^7 \text{ mgVSS/d} - (50 \text{ mgVSS/L} * 808.671 \text{ L/día})$$

$$\Delta x_v (\text{biol})/\Delta t = 5,20 * 10^7 \text{ mgVSS/d}$$

Entre los datos fijados en la sección anterior, más los calculados previamente, se logra calcular las concentraciones para sólidos suspendidos, como para bacterias activas tanto para la recirculación como para la salida principal del proceso de lodos activados, dándonos las siguientes concentraciones, obtenidas de la fórmula 40:

$$Xa^e = 0,51 \text{ mgVSSa/mgVSS} * 15 \text{ mgVSS/L} = 7,7 \text{ mgVSS/L}$$

$$Xa^f = 0,51 \text{ mgVSSa/mgVSS} * 10.000 \text{ mgVSS/L} = 5114 \text{ mgVSS/L}$$

$$Xss^e = 7,7 \text{ mgVSS/L} / 0,4 = 19,3 \text{ mgSS/L}$$

$$Xss^f = 5114 \text{ mgVSS/L} / 0,4 = 12861 \text{ mgSS/L}$$

De estos parámetros calculados, el más importante es la concentración de los sólidos suspendidos a la salida del reactor, pues este deberá ser comparado con el DS90 tabla N°1, debido a que este contaminante en particular no cumplía con dicho decreto antes del tratamiento.

El siguiente parámetro a calcular fue el caudal de purga y la tasa de recirculación de lodos, utilizando las fórmulas 41 y 42:

$$Q_w = 9,24 * 10^7 \text{ mgVSS/d} - (15 \text{ mgVSS/L} * 808,671 \text{ m}^3/\text{d} * 1000) / (10000 \text{ mgVSS/L} - 15 \text{ mgVSS/L})$$

$$Q_w = 8042 \text{ L/d}$$

$$R = 2501 \text{ mgVSS/L} * (1 - 0,23 \text{ d} / 5 \text{ d}) / (10000 \text{ mgVSS/L} - 2501 \text{ mgVSS/L})$$

$$R = 0,32$$

Lo siguiente a calcular será los nutrientes (fosforo y nitrógeno) necesarios para el proceso de lodos activados, esto se hará con las fórmulas 43 y 44:

$$r_n = 4,24 * 10^7 \text{ mgVSS/d} * 0,124 = 5,26 * 10^6 \text{ mgN/d}$$

$$r_p = 5,26 * 10^6 \text{ mgN/d} * 0,2 = 1,05 * 10^6 \text{ mgP/d}$$

$$N = 5,26 * 10^6 \text{ mgN/d} / (808,671 \text{ m}^3/\text{d} / 1000) = 6,5 \text{ mgN/L}$$

$$P = 1,05 * 10^6 \text{ mgP/d} / (808,671 \text{ m}^3/\text{d} / 1000) = 1,3 \text{ mgP/L}$$

Con todos estos datos calculados, se puede calcular la concentración del otro gran contaminante removido en el proceso de lodos activados. Para calcular la concentración de DBO5 se utilizó la fórmula 45:

Formula 45

$$\text{DBO5} = 0,81 \text{ mgDBO/L} * 0,68 + 7,7 \text{ mgVSS/L} * 0,8 * 1,42 \text{ mgDQO/mgVSS} \\ (\text{oxigeno necesario para oxidar un kilogramo de bacterias}) * 0,4 = 4,04 \text{ mgDBO5/L}$$

Este valor, al ser la concentración de la salida principal del reactor, es el que se debe comparar con la Tabla N°1 del DS 90, pues esta determina si el contaminante en cuestión cumple dicho decreto.

Respecto al proceso de lodos activados, por último, se calculó el suministro de oxígeno que este debe tener, de igual forma la potencia necesaria para suministrar este mismo, esto se hará utilizando las fórmulas 46 y 47:

$$\Delta \text{SO}_2 / \Delta t = 808,671 \text{ m}^3/\text{d} * 1000 * (220 \text{ mgDBO/L} - 0,81 \text{ mgDBO/L} + 1.42 * (50 \\ \text{mgVSS/L} - 2501 \text{ mgVSS/L} * 0,23 \text{ d} / 5\text{d}))$$

$$\Delta \text{SO}_2 / \Delta t = 1,03 * 10^8 \text{ mgO}_2/\text{dia}$$

$$P (\text{potencia}) = 1,03 * 10^8 \text{ mgO}_2/\text{día} / 1000000 / 1 \text{ kgO}_2/\text{kwh} / 24 = 4,3 \text{ kw}$$

Con las últimas especificaciones del proceso de lodos activados calculadas, este sería el caudal de salida del sedimentador secundario.

Tabla 19: Cantidad de contaminantes en el caudal de salida del sedimentador secundario.

(Elaboración propia)

Contaminante	Cantidad	Unidad
Solidos Suspendidos	15.607	mg/día
DBO5	18.791	mg/día
Nitrógeno org.	27.494	mg/día
Amoniaco	22.238	mg/día
Fosforo	5.705	mg/día
Cloruros	50.542	mg/día
Sulfatos	30325	mg/día
Alcalinidad	101.083	mg/día
Aceites y grasas	12.130	mg/día
Coliformes totales	10 ⁸	n/100ml

5.5 Comparativa antes y después de la planta.

Lo primero a comprar serán la cantidad de procesos con los que cuenta la planta tras la propuesta de mejora, resultando en la siguiente tabla:

Tabla 20: Comparativa de la cantidad de procesos antes y después de la propuesta de mejora.

Procesos en la planta de tratamiento actual	Procesos en la planta de tratamiento tras la propuesta de mejora
Lodos activados	Barra de rejas
Cloración	Desarenador – Desengrasador
Purga de lodos	Sedimentación primaria
	Lodos activados
	Cloración
	Purga de lodos

Posteriormente se comparó las dimensiones de los equipos en común en ambas situaciones, resultando en la siguiente tabla:

Tabla 21: Comparativa entre los valores de volúmenes de los procesos en común entre la planta pre-propuesta y post-propuesta

Procesos	Valor pre-propuesta de mejora	Valor post-propuesta de mejora
Lodos activados	270 m ³	185 m ³
Desinfección	7,2 m ³	16,85 m ³

6. Discusión

Lo primero que debemos apreciar, para analizar los resultados de la planta es el caudal de salida de la planta, el cual tiene la siguiente composición:

Tabla 22: Concentración del Caudal de salida de la planta

Contaminante	Cantidad	Límite DS 90	Unidad
Sólidos Suspendidos	19,3	80	mg/l
DBO5	23,2	35	mg/l
Nitrógeno org.	27,2	50	mg/l
Amoniaco	22,0		mg/l
Fosforo	5,6	10	mg/l
Cloruros	50,0	400	mg/l
Sulfatos	30,0	1000	mg/l
Aceites y grasas	15,0	20	mg/l
Coliformes totales	100	1000	n/100ml

Se puede apreciar el hecho de que todos los contaminantes cumplen con los requeridos por la tabla N°1 del decreto supremo 90. Ciertamente que es si hablamos del Fósforo, Cloruro y Sulfatos, estos ya cumplían la concentración necesaria antes de la entrada a la planta, pero contaminantes como los Sólidos suspendidos, DBO5, Coliformes fecales y Aceites y grasas, tenían un porcentaje ampliamente superior a lo permitido.

Ya cerciorándose que el caudal de salida de la planta tiene los parámetros correctos para ser descargado en el cuerpo de agua superficial, cabe analizar el estado de la planta actual de tratamiento de residuos líquidos sector Gacitúa. Lo principal que resalta de esta planta es la total ausencia de un método para tratar los aceites y grasas del caudal que entra a la planta, que como se puede verificar en las secciones anteriores este es considerable, además de la ausencia de prácticamente cualquier proceso para tratar el agua que no sean los lodos activados y el proceso de cloración, la ausencia de un pre tratamiento normalmente resulta en fallas en los equipos de la planta, pues la presencia de partículas de gran tamaño tiende a generar averíos.

Si analizamos la propuesta de mejora considera un pretratamiento completo, con una barra de rejas que se encarga de separar sólidos de gran tamaño y desarenador - desengrasador, para partículas pesadas y aceites y grasas, previo a la entrada al sedimentador primario. Como tratamiento primario, el primer sedimentador aligera considerablemente la carga de sólidos suspendidos totales y materia orgánica, de esta manera se aligera el trabajo que se realiza en el tratamiento secundario.

Como pudimos observar anteriormente todos los procesos fueron redimensionados, o diseñados desde un principio, dejando claro cada medida que tendrán estos, con la excepción del proceso de lodos activados, pues el estanque diseñado el año 2005 cuenta con un volumen de 270 m³, del cual ya conocemos todas las medidas de este (alto, largo y ancho), y el volumen necesario para tratar el caudal de la planta, el cual considera un aumento de población para los siguientes 15 años es 185 m³. El hecho de que el estanque planeado para 2500 personas sea de mayor tamaño, que uno diseñado para 5843 tiene explicación, el valor de diseño utiliza una fórmula que utiliza prácticamente solo valores teóricos y solo dos valores reales de diseño, siendo estos la concentración de DBO5 y los Sólidos suspendidos en el licor de mezcla, mientras que por otro lado el cálculo de la propuesta de mejora utiliza por una parte el caudal, el cual se basa en la población (parámetro que el cálculo anterior no utiliza) y el tiempo de retención hidráulico, el cual se determinó específicamente con los datos operacionales calculados para la planta, bajo esta

premisa es plausible considerar más representativo el cálculo realizado para el dimensionamiento de la planta.

Una de las posibles explicaciones del porqué a pesar de que el proceso de lodos activados actual sea de un mayor tamaño y aun así el tratamiento no se esté realizando de manera óptima, puede ser el hecho de que los cálculos no consideran los requerimientos de los microorganismos presentes de Fósforo y Nitrógeno, parámetros que sí son considerados en la propuesta de mejora, siendo necesarios 6,5 mg Nitrógeno/L y 1,3 mg Fósforo/L, suministros que son satisfechos por el caudal de entrada, teniendo 40 mg Nitrógeno/L y 8 mg Fósforo/L. Pero más importante los requerimientos de oxígeno, pues el proyecto original considera un suministro de 838,5 kg aire/h, mientras que el cálculo del plan de mejoramiento considera un suministro considerablemente mayor, el cual es de 4.291,6 kg O₂/hora.

Analizando la situación, el escenario de que ya exista un proceso de lodos activados mucho mayor del necesario es totalmente favorable, pues solo habría que adicionar las unidades de pretratamiento, tratamiento primario, redimensionar el estanque de cloración, y respecto al proceso de lodos activados solamente aumentar la capacidad de suministrar el oxígeno para un correcto funcionamiento.

Cabe destacar que en su momento esta planta de tratamiento de aguas residuales funciona para las condiciones de hace 18 años, momento para el cual fue diseñada. Si se busca el poder efectuar un correcto tratamiento para el agua de este sector de Isla de Maipo, se requiere un compromiso por parte de la municipalidad de la comuna para proyectar este plan de mejoramiento para los años estipulados.

7. Conclusión

Como se puede apreciar tras la propuesta de mejora, la planta logra cumplir con lo estipulado con el decreto supremo 90, a su vez el documento logro cumplir los objetivos planteados, siendo más específicos:

- a) Caracterizar la demanda de agua y aguas residuales de la población de Isla de Maipo: El objetivo fue cumplido, pues se analizó la población de Isla de Maipo, y más específicamente la del sector Gacitúa, proyectando esta misma para el año 2037, y con esto la cantidad y caracterización de sus aguas residuales.
- b) Analizar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas Gacitúa, ubicada en Isla de Maipo: El objetivo fue cumplido, pues se estudió el funcionamiento actual de la planta, basándose principalmente en la hoja de cálculos para el diseño de la planta, lo que permitió conocer las dimensiones y funcionamiento de cada proceso en detalle.
- c) Desarrollar un plan de mejoramiento, re-diseñando y ampliando la planta de Gacitúa, para cumplir con el tratamiento efectivo de aguas residuales generadas en la zona: El objetivo fue cumplido, pues se pudo diseñar la propuesta de mejora, adicionando algunos procesos y recalculando los ya existentes, logrando así un tratamiento efectivo de las aguas residuales de la zona hasta el año 2037.

8. Bibliografía

Instituto hidrológico, meteorológico y de estudios ambientales (2004): Fundamentos teóricos de lodos activados y aireación extendida.

AGUASIN División de aguas servidas (2005): Cálculo y dimensionamiento del sistema de tratamientos de aguas servidas de la localidad de Isla de Maipo.

Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (2014): Diagnostico regional de los comités y cooperativas de agua potable rural de la Región Metropolitana de Santiago.

Ministerio de obras públicas (1998): DECRETO 609 – Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.

Metcalf y Eddy (2000): Ingeniería de aguas residuales – Volumen 1 – Tratamiento, vertido y reutilización.

José Avefase - Universidad de ecuador (2012): Cálculos básicos para operación planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Canelones.

Center for climate and Resilence Research (2021): Balance Hídrico Nacional proyecta escasez de agua de hasta 50%.

Pablo Alejandro Carrasco Hernández - Universidad de Chile (2018): Las Políticas Públicas sobre la Gestión de Recursos Hídricos en Chile y los Países Bajos.

Sistema de información territorial (2021): Recursos naturales de la comuna de Isla de Maipo.

Loranzo – Rivas – Universidad Piloto de Colombia (2012): Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de aguas residuales.

Bruce E. Rittmann - Perry L. McCarty (1996): Environmental Biotechnology.

LaMunicipalidad.cl (2022): Municipalidad de Isla de Maipo.

Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (2018): ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN DE CHILE 1992-2050.

Ministerio de la secretaria general de la presidencia (2001): Decreto 90 – Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

Superintendencia de Servicios Sanitarios (2017): Resultados de Evaluación de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) 2017.

Instituto Nacional de Normalización (NCh 3218) (2012): Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales - Diseño y cálculo de redes