



INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

PROYECTO DE MEJORAMIENTO

**PROPUESTA DE MEJORA OPERACIONAL A PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS**

AUTOR:
RICARDO AVENDAÑO VELIZ

PROFESOR TUTOR:
ALFREDO IRIARTE V.

CURICÓ - CHILE
AGOSTO DE 2019

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Curicó, 2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia, a mi padre Ricardo Avendaño, a mi madre Aurora Veliz y a mi hermana Sofia por todo el apoyo que me entregaron durante todo este proceso, por la paciencia que tuvieron y por creer y tener fe en mi incluso cuando yo no la tenía, todo este trabajo es tan suyos como mío.

A mis amigos que siempre tuvieron palabras alentadoras en aquellos momentos oscuros y que si ellos esto tampoco sería posible.

A la empresa Nuevosur que de a poco se ha convertido en mi segunda casa y siempre me han recibido de la mejor manera. A Don José Moya, que a quien considero un mentor y que me ha enseñado valores que llevare conmigo siempre. A Don Manuel Yáñez, que en todo momento confió en mí y quien me abrió las puertas de la empresa y de quien voy a estar eternamente agradecido. A Don Fernando Rojas por acompañarme en esta última etapa, por sus enseñanzas y por la paciencia.

Finalmente, quiero agradecer a todos los profesores, en especial a mi profesor guía Alfredo Iriarte, quien me aconsejó y guio de la mejor forma para realizar este proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se llevará a cabo una propuesta de mejora para una planta de tratamiento de aguas servidas de la Región del Maule, la cual desde un tiempo hasta la fecha ha evidenciado una falta de capacidad para lograr un correcto funcionamiento. El objetivo de este proyecto es evaluar las condiciones actuales y proyectadas de la planta con el objetivo de definir cuáles son los procesos críticos dentro de esta, para así diseñar distintas propuestas que ayuden a mejorar su funcionamiento.

En la primera etapa, se realiza un diagnóstico general y posterior individual a todos los procesos de la planta, la cual nos permite conocer la capacidad de los equipos y, además, donde se establecen cuáles son los procesos que actualmente no están cumpliendo con los requerimientos de entrada de la planta y en los cuales se debe enfocar el desarrollo del proyecto. Ya con el diagnóstico se logra determinar cuáles son los principales factores que están generando problemas dentro del sistema.

Posteriormente, se realiza una reevaluación los procesos, pero esta vez sometiendo a la planta a trabajar bajo caudales de estrada proyectadas al futuro con el fin que las propuestas a realizar permitan el correcto funcionamiento futuro de la planta. Luego se procede con el diseño de los procesos críticos en donde se analizan distintas tecnologías con objetivo de determinar los equipos más convenientes.

Finalmente, se realiza una evaluación económica de distintas alternativas de ampliación propuesta dado los requerimientos de la planta. Cabe destacar que dada la naturaleza de la industrial las alternativas la ampliación de la planta no está orientada generar beneficio económico por lo tanto el principal enfoque de esta etapa está relacionado con los costos.

Ricardo Ignacio Avendaño Veliz (ravendano11@alumnos.otalca.cl)
Estudiante Ingeniería Civil Industrial - Universidad de Talca
Agosto de 2019

ABSTRACT

In this report, a proposal for improvement will be carried out for a wastewater treatment plant in the Region del Maule, which from time to date has shown a lack of capacity to achieve a proper performance. The objective of this project is to evaluate the current and projected conditions of the plant with the objective of defining what are the critical processes within it, in order to design different proposals that help improve the performance of the facilities.

In the first stage, a general and subsequent individual diagnosis is made to all the processes of the facilities, which allows us to know the capacity of the equipment and, in addition, where the processes that are currently not reaching the requirements are established of entrance of the plant and in which the development of the project should be focused. Already with the diagnosis it is possible to determine which are the main factors that are generating problems in the system.

Subsequently, a reassessment of the processes is carried out, but this time subjecting the plant to work under road flows projected into the future in order that the proposals to be made allow the correct future operation of the plant. Then we proceed with the design of the critical processes where different technologies are analyzed in order to determine the most convenient equipment.

Finally, an economic evaluation of different proposed expansion alternatives is carried out given the requirements of the plant. It should be noted that given the nature of the industrial alternatives, the expansion of the plant is not aimed at generating economic benefits, therefore the main focus of this stage is related to costs

Key words: wastewater treatment plant, diagnosis, expansion alternatives

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1. Introducción.....	3
1.1. Lugar de aplicación.....	3
1.2. Estructura Organizacional.....	4
1.3. Servicios entregados	4
1.3.1. Potabilización de agua y Tratamiento de aguas servidas	5
1.3.2. Mantención de Alcantarillado	5
1.3.3. Asesorías APR.....	6
1.3.4. Fiscalización de descarga de riles	6
1.4. Descripción de los procesos.....	6
1.5. Problemática	6
1.6. Objetivo general.....	8
1.7. Objetivos específicos	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....	10
2. Marco teórico y metodología.....	11
2.1. Marco teórico	11
2.1.1. Fundamentos del tratamiento de aguas servidas.....	11
2.1.2. Orígenes aguas servidas.....	11
2.1.3. Componentes de las aguas servidas.....	12
2.1.4. Curva crecimiento bacteriano.....	13
2.1.5. Medición de materia orgánica	15
2.1.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	15
2.1.6. Métodos de tratamiento de aguas servidas.	15
2.1.6.1. Tratamiento Físico	16
2.1.6.2. Tratamiento Químico	16
2.1.6.3. Tratamiento Biológico	16
2.1.7. Niveles de tratamiento de aguas servidas	16
2.1.7.1. Tratamiento Preliminar	17
2.1.7.2. Tratamiento Primario	17
2.1.7.3. Tratamiento Primario mejorado.....	17
2.1.7.4. Tratamiento Secundario Convencional.....	17

2.1.7.5.	Tratamiento Secundario con remoción de nutrientes	17
2.1.7.6.	Tratamiento Terciario	18
2.1.7.7.	Tratamiento Avanzado.....	18
2.1.8.	Manejo de Residuos y Biosólidos	18
2.1.9.	Tipos de Procesos de Tratamiento Biológico	19
2.1.10.	Normativa legal	19
2.2.	Metodología de solución.....	20
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y DIAGNÓSTICO		21
3.	Análisis de la problemática y Diagnostico	22
3.1.	Componentes de Sistema	22
3.2.	Desbaste	23
3.3.	Desarenado.....	26
3.4.	Procesos de lodos activados.....	28
3.4.1.	Diseño y parámetros operacionales	29
3.5.	Digestión lodos	32
3.6.	Deshidratación de lodos.....	33
3.7.	Desinfección	34
3.8.	Conclusión diagnostico.....	35
CAPÍTULO 4: SELECCIÓN Y DISEÑO DE MEJORAS		36
4.	Selección y Diseño de Mejoras	37
4.1.	Pronóstico de Afluente.....	37
4.2.	Evaluación desbaste	41
4.3.	Diseño desarenado	41
4.3.1.	Evaluación tecnologías desarenado	42
4.3.1.1.	Sedimentadores cuadrados de flujo horizontal	42
4.3.2.	desarenadores aireados	43
4.3.3.	Selección metodología desarenado.....	44
4.4.	Evaluación Tratamiento biológico.....	46
4.4.1.	Diseño Clarificador secundario	49
4.5.	Diseño cámara de contacto	49
4.6.	Evaluación digestor aeróbico.....	50
4.7.	Evaluación proceso deshidratado.....	51
4.7.1.	Prensa filtro de bandas.....	52
4.7.2.	Decantador centrifugo o decanter.....	53

4.7.3. Selección metodología deshidratado	54
CAPÍTULO 5: EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO	56
5. Evaluación económica del proyecto	57
5.1. Alternativas	57
5.2. Evaluación económica	58
5.2.1. Costos inversión	58
5.2.2. Costos Operacionales	59
5.2.2.1. Costos fijos	59
5.2.2.2. Costos Variables	59
5.2.3. Parámetros de evaluación	60
5.3. Evaluación de Proyectos.	61
CONCLUSIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Estructura general Nuevosur, Región del Maule.....	4
Ilustración 2: Grafico comparativo Caudal diseño Vs Caudal real	8
Ilustración 3: Curva crecimiento bacteriano.....	14
Ilustración 4: Esquema tratamiento de aguas servidas	23
Ilustración 5: Esquema proceso lodos activados	29
Ilustración 6: Esquema filtro de bandas	33
Ilustración 7: Modelo flujo helicoidal desarenador aireado	43
Ilustración 8: Información diseño desarenadores aireados.....	44
Ilustración 9: Grafico relación volumen reactores Vs SRT.....	49
Ilustración 10: Analisis ancho banda necesaria en relación a las horas de trabajo	52
Ilustración 11: Esquema decantador centrifugo	53
Ilustración 12: Curva reducción de SSV	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caudales de Calculo	24
Tabla 2: Características Desbaste	24
Tabla 3: Máximas velocidades Desbaste.....	26

Tabla 4: Cálculos velocidad desbaste	26
Tabla 5: Parámetros Desarenadores	27
Tabla 6: Parámetros diseño desarenadores	28
Tabla 7: Parámetros diseño tratamiento biológico	30
Tabla 8: Comparativa Parámetros Operacionales	31
Tabla 9: Parámetros necesarios VS actuales	31
Tabla 10: Parámetros diseño filtro de bandas.....	34
Tabla 11: Tiempo contacto caudal diseño vs año 2018.....	35
Tabla 12: Datos Caudales Máximo PTAS.....	39
Tabla 13: Datos Concentración Media PTAS	40
Tabla 14: diseño desbaste 2029	41
Tabla 15: Diseño desarenador cuadrado faltante.....	42
Tabla 16: Desarenadores aireados propuestos.....	44
Tabla 17: Puntajes para la construcción de matriz de ponderación.....	45
Tabla 18: Matriz selección tecnología desarenado.....	46
Tabla 19: Parámetros operacionales tratamiento biológico.....	47
Tabla 20: Requerimientos de diseño Vs situación actual	48
Tabla 21: Parámetros nuevo sedimentador.....	49
Tabla 22: Tiempo mínimo de retención cámara de contacto.....	50
Tabla 23: Diseño filtros banda situación proyectada.....	51
Tabla 24: Matriz selección tecnología desarenado.....	55
Tabla 25: Costo inversión equipos principales.....	58
Tabla 26: Costos inversión piping	58
Tabla 27: Costos inversión obras civiles	59
Tabla 28: Estimación costos variables unitarios	60
Tabla 29: Costos variables planta.....	60
Tabla 30: Resumen VAC distintas alternativas.....	61
Tabla 31: Parámetros de diseño Digestores diagnostico	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 : Calculo velocidad llegada a reja	25
Ecuación 2: Velocidad paso por reja	25
Ecuación 3: Diseño Desarenadores	27
Ecuación 4: Calculo eficiencia tratamiento biológico año 2018	66
Ecuación 5: eficiencia tratamiento biológico año 2018.....	66
Ecuación 6: Calculo volumen necesario de los estanques de aireación	66
Ecuación 7: Cálculo volumen estanques aireación 2018.....	67
Ecuación 8: Calculo SRT situación actual	67
Ecuación 9: SRT situación actual.....	68
Ecuación 10: Calculo tiempo retención hidráulica.....	68
Ecuación 11: Tiempo retención hidráulica caudal 2018	69

Ecuación 12: Calculo relación F/M	69
Ecuación 13: relación F/M año 2018.....	69
Ecuación 14: Calculo tasa de recirculación lodos	70
Ecuación 15: Tasa recirculación tratamiento biológico 2018	70
Ecuación 16: Calculo área necesaria de sedimentación	71
Ecuación 17: Área necesaria de sedimentación caudal 2018	71
Ecuación 18: Calculo volumen digestor	72
Ecuación 19: Volumen requerido digestión 2018	74
Ecuación 20: Caudal diseño paso por reja.....	74
Ecuación 21: Calculo paso agua entre rejas	75
Ecuación 22: Velocidad paso agua entre rejas caudal diseño	75
Ecuación 23: Calculo paso agua entre una reja caudal diseño	76
Ecuación 24: Calculo paso agua entre rejas	76
Ecuación 25: Calculo paso agua entre rejas	76
Ecuación 26: Diseño Desarenadores caudal diseño	77
Ecuación 27: Diseño Desarenadores caudal 2018.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Curva crecimiento bacterias aguas servidas	65
Anexo 2: Calculo diseño tratamiento biológico año 2018	65
Anexo 3: Cálculos diseño digestores año 2018	71
Anexo 4: Cálculos diagnostico desbaste	74
Anexo 5: Cálculos diagnostico desarenado	76
Anexo 6: Matriz de priorización para determinación porcentual de factores para alternativa de tecnología de desarenado.....	77
Anexo 7: Matriz de priorización para determinación porcentual de factores para alternativa de tecnología de deshidratados.....	78
Anexo 8: Costos fijo electricidad	79
Anexo 9: VAC alternativa N°1	80
Anexo 10: VAC alternativa N°2.....	81
Anexo 11: VAC alternativa N°3.....	82

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se realiza la introducción a la problemática a desarrollar a lo largo de este proyecto en conjunto con los objetivos y los pasos necesario para llevarlo a cabo.

1. Introducción

Una parte importante dentro de la realización de un proyecto de mejoramiento corresponde a la visualización y formalización de la problemática que se va a abordar a lo largo del proceso. El objetivo de este capítulo corresponde a definir y exponer los elementos generales que compondrán el trabajo para así dilucidar y analizar los alcances en conjunto con la viabilidad del proyecto.

1.1. Lugar de aplicación

Nuevosur S.A es una de las empresas sanitaria más importante de Chile. Atiende a más de doscientos ochenta mil clientes en la Región del Maule, siendo capaz de entregar sus diferentes servicios como lo son: producción y distribución de agua potable, evacuación y descontaminación de aguas servidas, así como tratamientos de residuos líquidos industriales y asistencia técnica a sistemas de agua potable rural.

Cabe destacar que la sanitaria ESSBIO presta los servicios de gerencia y administración general a la empresa, logrando con dicha alianza, ampliar su cobertura a las regiones de O'Higgins y del Bío Bío, lo que se traduce en un total de tres millones seiscientas mil personas atendidas.

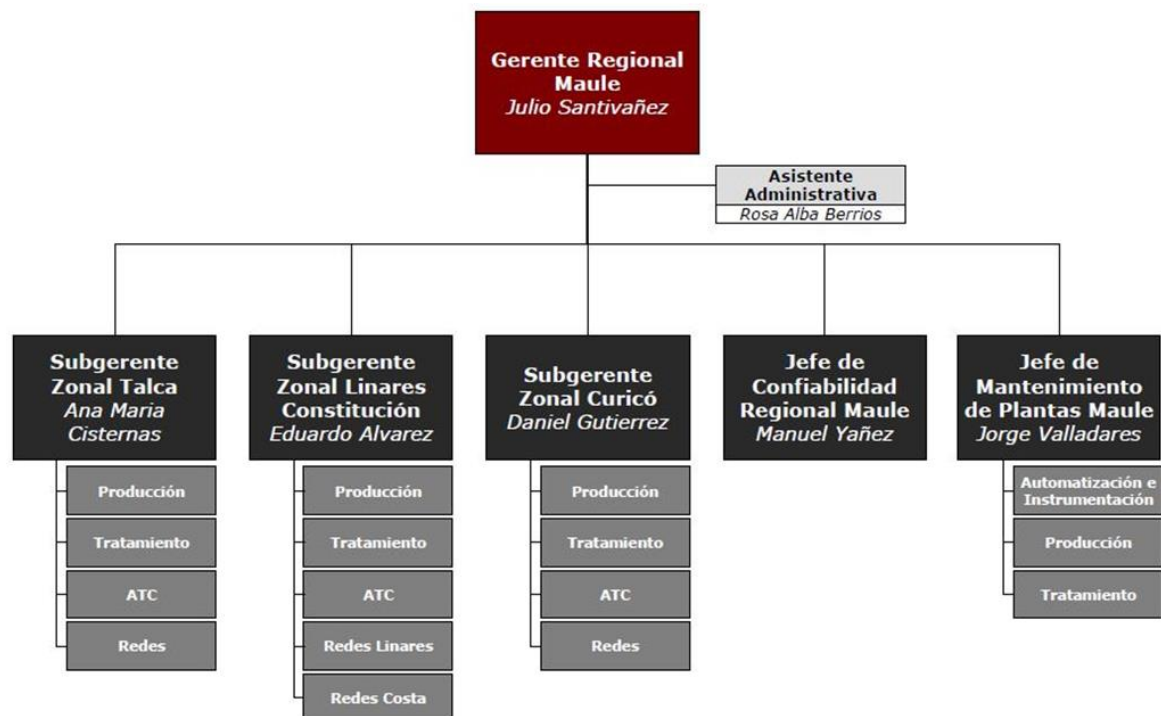
En la actualidad, la empresa cuenta con treinta y nueve sistemas de producción de agua potable, veinte y seis sistemas de descontaminación de aguas servidas, cientos de plantas elevadoras de aguas y miles de kilómetros de redes de distribución de aguas potable y recolección de aguas servidas.

El proyecto se llevará a cabo en una de las plantas de tratamiento de agua servidas que posee la empresa con el objetivo de entregar apoyo a través del análisis de parámetros operacionales y de diseño de plantas.

1.2. Estructura Organizacional

A continuación, se presenta la estructura general de Nuevosur (Ilustración 1), en dicha estructura se muestran los niveles a cargo de los gerentes generales para, de ese modo, es posible apreciar las divisiones zonales de subgerencias, confiabilidad y mantenimiento, estas subdivisiones permiten la realización de todas las labores de la mejor forma posible. La gran cantidad de subdivisiones vistas se deben a la gran cantidad de tareas que se deben realizar por Nuevosur S.A.

Ilustración 1: Estructura general Nuevosur, Región del Maule



Fuente: (Nuevosur, 2018)

1.3. Servicios entregados

Dentro de los productos y servicios que entrega la empresa están:

- Captación de Agua.
- Potabilización de Agua.
- Distribución de Agua.

- Tratamiento de Aguas Servidas.
- Mantención de Alcantarillado.
- Asesoría APR.
- Fiscalización de descarga de Riles.

1.3.1.Potabilización de agua y Tratamiento de aguas servidas

Para la potabilización de agua y tratamiento de aguas servidas se cuenta varias plantas, entre ellas, la planta de tratamiento de agua potable San Luis, la cual se encuentra ubicada en Camino al Agua Potable, Monte Baeza s/n, siendo ella la que abastece un parte importante de la Ciudad de Talca. Su producción depende del agua proveniente de pozos y su capacidad productiva es de aproximadamente cuatrocientos veinte y cinco litros por segundo, siendo el pozo ocho el más antiguo del año 1910 y una capacidad de almacenamiento de ocho mil metros cúbicos.

Este proceso se puede dividir en:

- **Captación:** Consiste en una captación subterránea con 11 pozos ubicados en dicha planta.
- **Planta elevadora:** Es una planta que cuenta con motobombas sumergibles que se instalan dentro de pozos de aspiración, el cual absorbe las fluctuaciones de caudal y controla el número máximo de partidas de las bombas.
- **Desinfección y Fluoración:** En esta fase se le inyecta Flúor y Cloro al agua, antes de pasar al estanque de almacenamiento.
- **Estanque de Almacenamiento:** Es un estanque elevado, se poseen 3 de cinco mil metros cúbicos y dos de mil quinientos metros cúbicos
- **Instalaciones eléctricas:** Se cuenta con subestaciones y equipos generadores de respaldo.

1.3.2.Mantención de Alcantarillado

La red de alcantarillado sirve para transportar tanto las aguas residuales domiciliarias hacia las plantas de tratamiento, como también para la distribución de agua desde las plantas productoras de agua hacia los clientes de toda la zona. Dicha red consiste en tuberías, planta elevadora,

bombas, etc. Para que esta red esté en óptimas condiciones existe el plan de mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

El mantenimiento correctivo consiste en atender casos de emergencias de alcantarillado para resolver problemas de obstrucciones como también roturas dentro del sistema de alcantarillado y el mantenimiento preventivo que se centra en la conservación para garantizar el correcto funcionamiento de la red de alcantarillado, este mantenimiento se realiza mediante planes para los diferentes sectores.

1.3.3. Asesorías APR

La empresa realiza actividades de gestión de proyectos, asesorías y asistencia técnica en los servicios que presta a los sectores rurales de las diferentes regiones en los cuales está presente. El programa APR tiene como principal objetivo reducir los tiempos para materializar los proyectos. Hoy en día los tiempos oscilan entre 4 y 10 años, sin embargo, se busca reducir los tiempos entre 2 y 3 años.

1.3.4. Fiscalización de descarga de riles

Los Riles son los residuos industriales líquidos que pueden ser descargados sin tratamientos a ríos, lagos y mares, lo que produciría graves daños en el medio ambiente. Riles Nuevosur, en la Región del Maule, es una solución para el tratamiento de los Residuos Industriales líquidos que son generados por empresas en sus procesos industriales productivos.

1.4. Descripción de los procesos

Describir de buena manera los procesos dentro de la planta de tratamiento permite conocer cómo funciona el sistema que se pretende estudiar, lo que establecerá una base para la realización del proyecto de mejoramiento.

1.5. Problemática

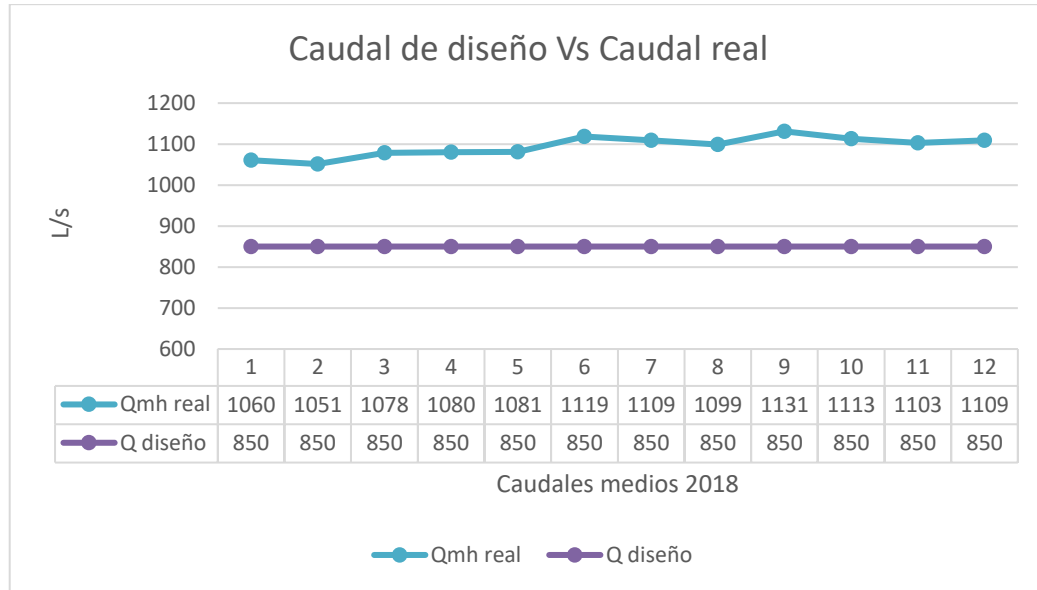
Primero que todo es necesario destacar que la problemática a desarrollar se encuentra en una de las tantas plantas de tratamiento de aguas servidas de la región.

Desde hace un tiempo hasta la fecha se ha registrado un mal funcionamiento por parte de la planta, dado que los procesos que se realizan, no se están efectuando de la forma que corresponde y las fallas de las unidades dentro de cada proceso son cada vez más frecuentes. Por lo tanto, la eficiencia de la planta se ha visto disminuida

La principal razón que ha identificado la empresa corresponde a una falta de capacidad por parte de la planta, dada la creciente en los caudales de entrada a la planta. Esto se debe principalmente a que el diseño de las instalaciones fue realizado en el año 2002 y la cual buscaba abastecer los requerimientos hasta el año 2013 dado los caudales proyectados en esa fecha. Sin embargo, desde el periodo de diseño hasta la fecha, no se han realizado cambios significativos en la infraestructura que ayuden a aumentar la capacidad de tratamiento de la planta.

La falta de capacidad por parte de la planta es uno de los problemas que es fácil de apreciar dado los datos de registro que posee la planta actualmente, en la Ilustración 2 es posible apreciar que el caudal medio horario (Qmh), el cual es utilizado para el cálculo de la capacidad de una planta y que corresponde a la hora en la que ingresa la mayor cantidad de agua en el mes, es considerablemente superior a la capacidad o caudal de diseño de la planta que según información entregada por el encargado de la planta, aproximadamente un 28%. Dado esto, una de las soluciones tentativas a la problemática está asociada a una ampliación o cambio tecnológico que ayude a combatir el aumento de la capacidad. Sin embargo, no existe conocimiento por parte de la empresa de cuáles son los procesos o unidades más críticas dentro de los procesos y que sean el principal responsable de la gran cantidad de fallas que actualmente presenta la planta.

Ilustración 2: Grafico comparativo Caudal diseño Vs Caudal real



Fuente: Elaboración propia

1.6. Objetivo general

Como se mencionó anteriormente, si bien se sabe de la existencia de la problemática y una de las principales razones que la produce, no hay actualmente real conocimiento de cuáles son las unidades que se encuentran más acríticas dentro de la planta, por lo que un diagnóstico y análisis ayudarían a entender la mejor forma en la que se podría abordar el problema. Además, es necesario que después de detectado cuales son los procesos que mayor parte justifican la falla en los procesos, se elabora una propuesta o plan con el objetivo de dar solución a la problemática principal.

Dado esto, el objetivo general para este proyecto corresponde a:

“Diseñar distintas propuestas de mejora para los distintos procesos que ayuden a optimizar el funcionamiento de la planta”

1.7. Objetivos específicos

Para llegar a alcanzar el objetivo general de este proyecto es necesario definir objetivos específicos que sirvan como resultados parciales que ayude a entender lo que se pretende lograr en diferentes etapas del proyecto.

A continuación, se describen los objetivos específicos:

- Realizar diagnóstico de la situación actual de la planta de tratamiento, identificando claramente las unidades o equipos críticos que generan la problemática actual.
- Desarrollar propuestas de mejora que permita lograr un correcto funcionamiento de la planta de tratamientos.
- Identificar los beneficios a obtener con la implementación de las mejoras.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se presenta el modo en el cual se aborda la problemática planteada, mencionando los elementos teóricos y técnicos a utilizar, junto con la metodología de solución.

2. Marco teórico y metodología

Hacer un estudio previo de los conceptos a utilizar en el proyecto es muy importante, de esta forma será más fácil entender todo lo que se encuentra detrás de este. Además, para un correcto desarrollo del proyecto es necesario identificar las diferentes etapas y las actividades que se llevaran a cabo en estas. A continuación, se procede a explicar los distintos conceptos relevantes dentro de este proyecto como también mencionar todas las actividades a desarrollar para el desarrollo exitoso del este proyecto.

2.1. Marco teórico

El marco teórico entrega todos los aspectos teóricos existentes respecto a la problemática, además de herramientas que permiten encontrar la solución.

2.1.1. Fundamentos del tratamiento de aguas servidas

La ciencia y la ingeniería del tratamiento de aguas servidas ha progresado de gran manera en las últimas 4 a 5 décadas. A medida que el conocimiento y la comprensión de la relación entre los patógenos transmitidos por el agua y la salud pública ha aumentado, también lo ha hecho el impulso por la innovación de las nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas servidas. En el último centenario, el crecimiento de la población como también la industrialización han tenido como resultado una degradación significativa del medio ambiente. El desecho de aguas servidas en tierras o lagos y ríos ya no es una opción. Nuevas regulaciones apuntan a proteger el medio ambiente como también la salud de la gente. (Peavy, et al., 1985).

Los objetivos del tratamiento de aguas servidas son reducir (1) el nivel de sólidos, (2) nivel de materia orgánica biodegradable, (3) nivel de patógenos, y (4) el nivel de componentes tóxicos en las aguas servidas. Todo esto, para cumplir con los límites regulatorios que protegen tanto el medio ambiente como también la salud de las personas.

2.1.2. Orígenes aguas servidas

Las fuentes más comunes de las aguas servidas son las que se mencionan a continuación:

- **Aguas servidas domésticas y municipales:** esto incluye la descarga de las residencias e instituciones tales como escuelas y hospitales, e instalaciones comerciales como restaurantes, y centros comerciales, etc.
- **Aguas servidas industriales:** desechos descargados desde procesos industriales, por ejemplo; industrias farmacéuticas, mataderos, etc.
- **Infiltración:** esta incluye aguas que eventualmente entran al alcantarillado desde drenajes de cimientos, fugas de cañerías, etc.
- **Aguas lluvias:** agua proviene de lluvias como también derretimiento de nieve.

2.1.3. Componentes de las aguas servidas.

El mayor componente de las aguas servidas domesticas o municipales son los sólidos suspendidos, materia orgánica y patógenos. Los nutrientes como el nitrógeno o el fosforo pueden causar problemas cuando se presentan en grandes cantidades. Los desechos industriales pueden contener los contaminantes anteriores, como también metales pesados, componentes tóxicos y orgánicos refractarios. Las aguas lluvias, pueden contener combustibles, cieno, y pesticidas cuando se incorpora a las aguas provenientes de zonas agrícolas.

Las normas que regulan los tratamientos de aguas servidas están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en las aguas residuales. Gran parte de las normas implantadas incluyen la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios. A continuación, se describen y se da la razón de importancia de los contaminantes de interés en el tratamiento de aguas residuales anteriormente mencionados:

- **Sólidos en suspensión:** estos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaeróbicas cuando se vierten aguas residuales sin tratar al entorno acuático
- **Materia orgánica biodegradable:** compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales. Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
- **Patógenos:** pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de organismos patógenos presentes en el agua residuales.

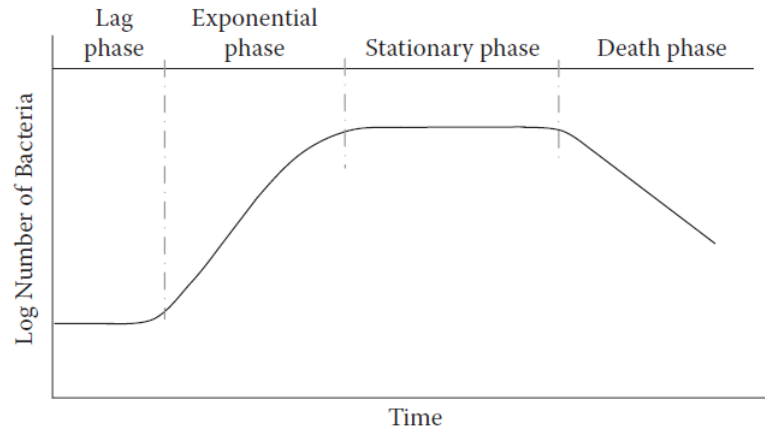
- **Nutrientes:** Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten en entornos acuáticos estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también puede provocar contaminación de aguas subterráneas.
- **Metales pesados:** los metales pesados son, frecuentemente, añadidos en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua.

Los sólidos suspendidos consisten en materia inerte como harapos, papel, como también restos de comida y aguas servidas. La materia orgánica biodegradable está compuesta de 40% a 60% de proteínas, 25% a 50% de carbohidratos, y cerca del 10% de lípidos. (Peavy, et al., 1985). Las proteínas son principalmente aminoácidos. Carbohidratos corresponden a azúcar, almidones y celulosa. Lípidos incluyen la grasa y aceites. Los componentes de los desechos industriales van a depender del tipo de industria y los procesos utilizados en su manufactura.

2.1.4. Curva crecimiento bacteriano

Existen varios factores que afectan el crecimiento y muerte de las bacterias. Estos incluyen el tipo de alimento o fuente de carbono, abundancia de alimentos, nutrientes, pH, temperatura, presencia o ausencia de oxígeno y sustancias tóxicas. Dadas condiciones óptimas, las bacterias llegan a crecer en proporciones logarítmicas. Un experimento realizado con alimento y nutrientes limitados produce una curva de crecimiento bacteriano similar al que se encuentra en la Ilustración 3.

Ilustración 3: Curva crecimiento bacteriano



Fuente: (Riffat, 2013)

La curva de crecimiento bacteriano exhibe cuatro diferentes fases, estas son:

- **Fase de retardo (*lag phase*):** Corresponde al tiempo que necesita la bacteria para ajustarse al nuevo medio ambiente y comenzar a reproducir las enzimas necesarias para degradar el alimento o sustratos a su alrededor.
- **Fase crecimiento exponencial (*exponencial phase*):** Durante esta fase la célula se divide a una velocidad determinada por el tiempo de generación y su capacidad de procesar alimento (tasa de crecimiento).
- **Fase estacionaria (*stationary phase*):** En esta fase, la población permanece constante. Las razones que se apuntan para la explicación pueden ser dado a que las células han agotado su sustrato o nutrientes necesarios para el crecimiento y/o las células nuevas se compensan con la muerte de las células viejas.
- **Fase de muerte exponencial (*Death phase*):** Cuando uno o más nutrientes o sustratos es agotado, se produce la muerte de las células. La tasa de mortalidad de bacterias excede a la de generación de células nuevas.

En el Anexo 1 se puede observar la curva de crecimiento para distintas bacterias que se encuentran en las aguas servidas. La mayoría de las plantas de tratamiento operan entre dentro de la fase estacionaria o de muerte, ya que permite una buena sedimentación de las bacterias.

2.1.5. Medición de materia orgánica

A través de los años se han desarrollado diferentes métodos para medir la cantidad de materia orgánica en las aguas servidas. Las técnicas más usadas corresponden a la demanda bioquímica de oxígeno (BOD) y demanda química de oxígeno (DQO).

BOD es el parámetro mayormente usado para medir la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en las aguas servidas. DQO es definido como el oxígeno equivalente de materia orgánica que puede ser oxidada por un oxidante químico fuerte en un medio ácido. DQO mide tanto materia orgánica degradable como la no degradable. (Ramalho, 1983)

2.1.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El DBO corresponde al parámetro más usado de contaminación orgánica aplicada tanto a las aguas servidas como a las aguas superficiales. DBO se define como la cantidad de oxígeno utilizado por una población mixta de microorganismos durante oxidación aeróbica de materia orgánica a temperatura controlada de 20°C por un tiempo específico.

Teóricamente, tomaría un tiempo infinito para la degradación de toda la materia orgánica dentro de la muestra. El valor del DBO depende del tiempo. En la industria sanitaria, el DBO en mg/L de O₂ es usado como valor estándar que es obtenido de una prueba DBO realizado durante cinco días. (AWWA, et al., 1012)

2.1.6. Métodos de tratamiento de aguas servidas.

Los contaminantes dentro de las aguas servidas pueden ser removidas de manera física, química y biológica. Además, dependiendo de la naturaleza del contaminante y el nivel de remoción deseado, es necesario realizar una combinación de los distintos métodos mencionado anteriormente. A continuación se describen cuales son las diferentes alternativas que existen dentro de los diferentes métodos de tratamiento.

2.1.6.1. Tratamiento Físico

En el tratamiento físico de las aguas servidas involucra la remoción de contaminantes a través de simples fuerzas físicas, por ejemplo. sedimentación, cribado o desbaste y filtración. Procesos de tratamiento físico son usados principalmente para remover los sólidos suspendidos.

2.1.6.2. Tratamiento Químico

El tratamiento químico involucra la adición de químicos para alcanzar la conversión o destrucción de los contaminantes a través de reacciones químicas, p. ej. coagulación-floculación para remoción de sólidos, desinfección por destrucción de patógenos, precipitación química para remoción de fosforo.

2.1.6.3. Tratamiento Biológico

El tratamiento biológico involucra la conversión o destrucción de contaminantes con la ayuda de microorganismos. En las plantas de tratamiento de aguas servidas, los microorganismos que se encuentran en las mismas aguas son usados en las operaciones de tratamiento biológico. Ejemplos de tratamientos biológicos corresponden a procesos de lodos activados, biorreactor de membrana, filtros de goteo, entre otros. El principal propósito del tratamiento biológico es reducir y remover la materia orgánica biodegradable de las aguas servidas a niveles aceptables de acuerdo con los límites regulatorios. El tratamiento biológico también es usado para remover nutrientes como el nitrógeno y fosforo.

2.1.7. Niveles de tratamiento de aguas servidas

Un sistema de tratamiento de aguas servidas es un conjunto o combinación de operaciones y procesos unitarios para reducir los contaminantes a niveles aceptables. El término de operaciones unitarias hace referencia a los procesos que utilizan el método físico de tratamiento. El término procesos unitarios, hace referencia a proceso que utilizan el método de tratamiento biológico o químico. (Metcalf and Eddy, 2003)

2.1.7.1. Tratamiento Preliminar

El tratamiento preliminar corresponde a la remoción física de sustancias contaminantes como basura o ropa, etc. Los cuales podrían causar problemas operacionales en las bombas, procesos siguientes, procesos anexos. Ejemplos de tratamiento preliminar corresponden a rejas mecánicas o manuales para la eliminación de sólidos de gran tamaño, pulverizador para moler partículas grandes, desarenadores para eliminar sólidos suspendidos inertes, y flotación para la eliminación de aceites y grasas.

2.1.7.2. Tratamiento Primario

El tratamiento primario involucra la remoción física de una porción de los sólidos suspendidos de las aguas servidas, usualmente a través de la sedimentación. Clarificadores primarios son utilizados para este propósito. El efluente de los clarificadores primarios contiene una cantidad significativa de *DBO* (demanda biológica de oxígeno) por lo que requiere post tratamiento.

2.1.7.3. Tratamiento Primario mejorado

El tratamiento primario mejorado involucra el uso de tratamiento químico para una mayor remoción de sólidos en el tanque de sedimentación. Coagulantes químicos son usados para contribuir la coagulación y floculación de los sólidos en el estanque de sedimentación, resultando una mejor remoción de sólidos suspendidos.

2.1.7.4. Tratamiento Secundario Convencional

Tratamiento secundario convencional implica el tratamiento biológico para la degradación de materia orgánica y reducción de sólidos. La eficiencia se mide principalmente en términos de *DBO* y remoción de sólidos suspendidos. El tratamiento se lleva a cabo en reactores biológicos seguido por un estanque de sedimentación o clarificador secundario.

2.1.7.5. Tratamiento Secundario con remoción de nutrientes

Cuando la remoción de nutrientes como el nitrógeno o el fósforo es requerido, es posible ser combinado con el tratamiento secundario para la remoción de *DBO*. Reactores adicionales

podrían ser requeridos para alcanzar la remoción de nitrógeno a través del proceso de nitrificación.

2.1.7.6. Tratamiento Terciario

Tratamiento terciario incluye procesos usados después del tratamiento secundario, por ejemplo, filtración de medios granulares usado para la remoción de sólidos suspendidos residuales, y desinfección para la reducción de patógenos. El tratamiento adicional para la eliminación de nutrientes también está incluido en el tratamiento terciario.

2.1.7.7. Tratamiento Avanzado

Procesos de tratamiento avanzado son usados cuando es necesario la eliminación de componentes en el agua dada la toxicidad de ciertos elementos, o el potencial en el reúso de las aguas. Por ejemplo, la absorción de carbón activado para eliminación de componentes orgánicos volátiles.

2.1.8. Manejo de Residuos y Biosólidos

Cada uno de los procesos descritos anteriormente generan cierta cantidad de residuos sólidos. El desecho generado es semisólido por naturaleza y es denominado “Lodos”. El desecho generado en el tratamiento preliminar incluye arenas y basura, estos desechos residuales son bajos en materia orgánica por lo que se pueden disponer en vertederos. El lodo generado en los sedimentadores primario y secundario tiene una cantidad elevada de materia orgánica por lo que se requiere un tratamiento posterior antes de ser eliminados. El término *biosólido* es utilizado para referirse a los lodos previamente tratados. El costo del tratamiento de los lodos representa entre un 40% a 50% del costo total del tratamiento de las aguas servidas.

Los principales objetivos del tratamiento de lodos son (a) reducción del contenido orgánico, (b) reducción de la fracción líquida, (c) reducción de contenido de patógenos. La reducción en la fracción de líquido se lleva a cabo a través de distintos procesos como centrifugado, flotación por aire disuelto, filtros de banda, etc. La reducción de los patógenos y el contenido orgánico se logra con procesos como la digestión anaeróbica, digestión aeróbica, secado al aire, secado por calor, compostaje, pasteurización, etc.

2.1.9. Tipos de Procesos de Tratamiento Biológico

Existen 2 tipos principales de tratamiento biológico de aguas servidas:

- **Procesos de crecimiento suspendido:** los microorganismos se mantienen en suspensión en el reactor biológico por un sistema de mezcla. El proceso puede ser aeróbico o anaeróbico. Ejemplos de procesos de crecimiento suspendidos incluyen los procesos de lodos activados, reactores por lote, lagunas, digestores, etc.
- **Proceso de crecimiento adjunto:** los microorganismos responsables por la bioconversión se unen a un medio inerte dentro del reactor, donde crece y forma una capa llamada biofilm.

2.1.10. Normativa legal

Para diseñar las plantas de tratamientos de las plantas de tratamiento de aguas servidas es necesario tener en consideración las normativas legales a las cuales está sujeta el país. En otros países de Latinoamérica la regularización de las plantas este hecho al punto en el cual está restringida la metodología en la cual trabaja la planta, es decir, esta predefine cuales son las componentes que deben presentar el tratamiento biológico físico y químico. Por el contrario, en Chile a través de Decreto Supremo N°90 se establecen las normas de emisión para la regularización de contaminante asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, es decir, en Chile se establecen los límites en nivel de contaminación de debe poseer el efluente de la planta de tratamiento, dejando en libertad de utilizar el método que más sea conveniente dependiendo del objetivo que va a poseer la planta.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente el tratamiento de aguas servidas produce como residuo los lodos generados producto de la degradación de la materia orgánica. Dado que estos lodos poseen una gran cantidad de patógenos y metales pesados pueden llegar a ser peligrosos para la población, el Decreto Supremo N°4 establece un reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, en este decreto se realiza una definición de los lodos, establece las metodologías de estabilización de estos con el fin de reducir el grado de contaminación de estos. El decreto establece como se debe realizar la disposición final de los lodos, además de establecer los métodos de medición de contaminantes

2.2. Metodología de solución

A continuación, se plantea la secuencia de etapas y actividades que rigen el desarrollo del presente trabajo.

a) Etapa 1: Realizar diagnóstico de la situación actual

Para llegar a conocer como esta funcionando actualmente la empresa es necesario realizar un diagnóstico profundo de los procesos, ya sea de manera global como las unidades en particular. Para esto es requerido estudiar como es el correcto funcionamiento de una planta de tratamiento. Luego, parte importante del diagnóstico se basa en 4 partes:

- Recopilación de toda información necesaria de las diferentes fuentes dentro de la empresa.
- Tabulación de todos los datos que fueron encontrados de ser requeridos, lo cual permite trabajarla de mejor manera en la etapa de análisis.
- Realizar estudio que permita conocer cuáles son los parámetros de diseño de cada uno de los procesos de la planta.
- Análisis de toda la información con que nos permita entender la causas que están provocando la problemática y además de identificar cuales serias las actividades a realizar para generar una alternativa de solución.

b) Etapa 2: Diseño de propuestas de solución

En este apartado es necesario analizar los datos recopilados en la etapa de diagnóstico y comenzar con el desarrollo y creación de cuáles serán las propuestas de mejora que ayuden a combatir la problemática actual de la empresa. A continuación de la creación de las propuestas, estas deben ser presentadas a la empresa.

c) Etapa 3: Análisis de las alternativas y evaluación de impacto

Luego de contar con las diferentes propuestas de mejoramiento, es necesario realizar una evaluación económica que permita ayudar a definir cuál es el impacto que significan la implementación de las propuestas de mejora, además en esta etapa se realizara un análisis y selección de las diferentes alternativas bajo diferente escenario.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y DIAGNÓSTICO

En el presente capítulo se analiza en detalle la problemática y se realiza el diagnóstico de la situación actual que vive la planta de tratamiento de aguas servidas.

3. Análisis de la problemática y Diagnóstico

En el siguiente capítulo se presenta y analiza la situación actual que vive la planta de tratamiento de aguas servidas, a través de la descripción de las distintas unidades que componen el proceso de tratamiento, a manera de entender la problemática y realizar un diagnóstico de este.

3.1. Componentes de Sistema

La planta de tratamiento de aguas servidas consiste en un proceso de tratamiento biológico aeróbico de lodos activados en la modalidad convencional, con desinfección final del efluente con gas cloro. La línea de lodos incluye las unidades de digestión aeróbica y deshidratado mecánico de los lodos.

El pretratamiento incluye las unidades de desbaste de gruesos, desbaste fino mecánico, medición de caudal afluente, desarenado y desengrasado. El desbaste fino mecánico incluye dos rejas mecánicas, con un espaciamiento entre barras de 8 mm. Los canales de las rejas son de 1,20 m de ancho y al menos, 1,0 m de profundidad, para cada reja.

Aguas abajo de las rejas mecánicas se ubica el dispositivo de medición del caudal afluente (*canaleta Parshall* de 3 pies de ancho de garganta con un medidor de caudal de tipo ultrasónico con sensor de nivel sin contacto).

El sistema de desarenado consiste en dos unidades, de sección cuadrada que remueve las arenas por medio de un tornillo desde el fondo y las eleva para descargarla en un contenedor. El sistema de desengrasado es una unidad aireada, de sección circular, en el cual las grasas se extraen desde la superficie por medio de la flotación de estas y con la ayuda de un barredor.

Desde la cámara de distribución del desgrasado, el agua pretratada se mezcla con el lodo de recirculación en la cámara de distribución N°1, y a través de vertederos perimetrales se distribuye a las unidades de tratamiento secundario.

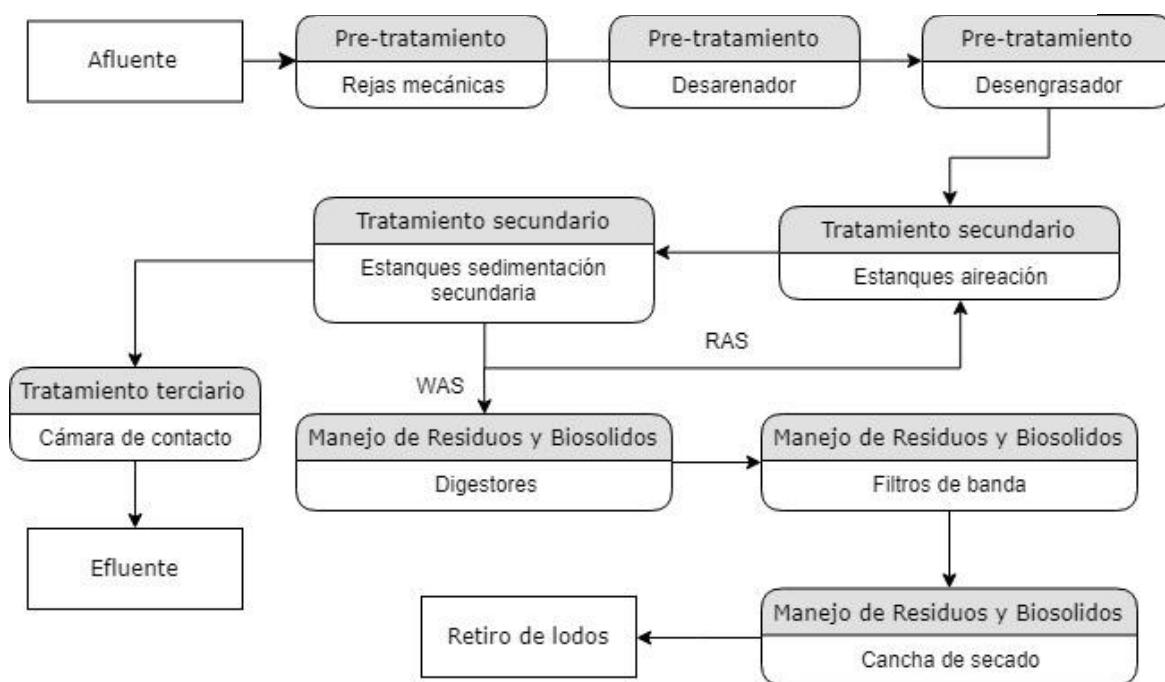
El tratamiento secundario, consiste en tres unidades de tratamiento biológico, de sección rectangular separadas por muros de hormigón armado, de gran profundidad (7,0 mts), con inyección de aire desde el fondo, con difusores de burbuja fina. El licor mixto abandona los reactores a través de un vertedero a lo largo de uno de los muros de los reactores y se conduce gravitacionalmente a las unidades de sedimentación secundaria, consistente en cuatro

sedimentadores circulares, de 38 m de diámetro, con una superficie total de 4.534m², y 4,0m de altura vertical, con sistema de remoción de espumas y flotantes, de tipo radial.

El sistema de recirculación y purga de lodos consiste en una planta elevadora, con cuatro bombas de recirculación y una bomba para el descarte de los lodos de exceso.

Respecto de la línea de lodos, el sistema incluye las unidades de digestión aerobia seguida de deshidratación mecánica (filtro de bandas) de los lodos.

Ilustración 4: Esquema tratamiento de aguas servidas



Fuente: Elaboración Propia

3.2. Desbaste

El desbaste corresponde a la primera unidad del sistema y corresponde al proceso que inicia el pretratamiento. El objetivo de esta etapa corresponde a la eliminación a través de rejas de los sólidos que pueden dañar las bombas dado el gran tamaño. Para la evaluación de esta etapa se utilizaron dos valores para el caudal de entrada del sistema, el caudal horario medio promedio del año 2018 y el caudal máximo de diseño de la planta.

En la Tabla 1 se muestran los valores de los caudales utilizados en el análisis.

Además, en la Tabla 2 se muestran las características de las rejas y canales de desbaste de la planta.

Tabla 1: Caudales de Calculo

Parámetro	Valor	Unidad
Promedio caudal máximo horario año 2018	1095	l/s
Caudal máximo horario de diseño	902	l/s

Fuente: Elaboración Propia

Primero que todo es necesario destacar que, para el diseño del desbaste, una de las rejas debe ser capaz de abastecer al 100% del caudal de entrada, bajo el supuesto de que en caso de que una de las rejas falle, la otra será capaz de cumplir con el caudal total de la planta. Además, es necesario destacar que el caudal de diseño de esta etapa corresponde al caudal horario máximo, el cual corresponde al caudal máximo registrado durante el día.

Tabla 2: Características Desbaste

Características	unidad	Reja mecanizada
Cantidad	-	2
Ancho reja	m	1,2
Separación entre barras	m	0,008
Espesor barras	m	0,006
Angulo de inclinación	°	75
N° barras	-	85
N° espacios entre barras	-	86

Fuente: Elaboración Propia

Primero que todo es necesario destacar que, para el diseño del desbaste, una de las rejas debe ser capaz de abastecer al 100% del caudal de entrada, bajo el supuesto de que en caso de que una de las rejas falle, la otra será capaz de cumplir con el caudal total de la planta. Además, es necesario destacar que el caudal de diseño de esta etapa corresponde al caudal horario máximo, el cual corresponde al caudal máximo registrado durante el día.

Los principales parámetros de diseño dentro de este proceso corresponden a las velocidades de acercamiento del caudal a las rejas y la velocidad de paso a través de las rejas, ya que una baja velocidad de llegada ayuda a la acumulación de sólidos dentro del canal de desbaste, mientras que una alta velocidad de paso por las rejas significa que existiría una filtración de los sólidos a través de las rejas.

La velocidad de acercamiento a las rejas está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1 : Calculo velocidad llegada a reja

$$V = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{A \left(m^2 \right)}$$

Fuente: Elaboración Propia

Donde V corresponde a la velocidad llegada a reja $\left(\frac{m}{s} \right)$, Q representa el caudal de llegada $\left(\frac{m^3}{s} \right)$ y A corresponde al área del canal de entrada (m^2) .

El parámetro de velocidad de paso a través de la reja se define por la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Velocidad paso por reja

$$V_s = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{\text{Area apertura rejas } (m^2)}$$

Fuente: Elaboración Propia

Donde el área de apertura de la reja corresponde al área total de los espacios entre las barras, la cual se calcula como la multiplicación entre los numero de espacios en la reja, la distancia o espacio entre rejas y la profundidad del agua.

Según datos bibliográficos, existen velocidades máximas de diseño para obtener un buen funcionamiento del proceso. En la siguiente tabla se entregan las velocidades máximas de aproximación como de paso.

Tabla 3: Máximas velocidades Desbaste

Parámetro	Mínimo	Máximo	Unidad
Velocidad de aproximación	0,45	0,9	m/s
Velocidad de paso por reja	0,6	1,2	m/s

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Los cálculos se pueden rescatar en la siguiente tabla:

Tabla 4: Cálculos velocidad desbaste

Variable	unidad	Promedio Caudal máximo horario 2018		Caudal máximo horario diseño	
		50% Caudal Reja	100% Caudal Reja	50% Caudal Reja	100% Caudal Reja
Caudal por reja	m3/s	0,575	1,095	0,451	0,902
Altura agua	m	0,7	0,7	0,7	0,7
Velocidad máxima aproximación	m/s	0,65	1,30	0,54	1,07
velocidad máxima de paso	m/s	0,91	1,82	0,75	1,5

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 4, se destacan con verde los parámetros que no cumplirían con las velocidades máximas. Es decir que en ningún caso la planta está preparada para una falla en alguna de las rejillas, ya que no va a ser capaz de realizar un buen proceso si es que llegara a fallar una de las rejillas. En el Anexo 4 se encuentran más detalle de los cálculos realizados.

3.3. Desarenado

El desarenado corresponde a la sedimentación de partículas discreta, corresponde al proceso en el cual se realiza la remoción de las arenas que trae el caudal de entrada de la planta. Como se mencionó anteriormente, los desarenadores corresponden a estagues cuadrados de 4 metros de largo. Para el cálculo del área necesaria que deben tener los desarenadores, es necesario determinar las características de las arenas que se pretenden eliminar. A continuación, en la Tabla 5 se entregan las características actuales de los desarenadores y según memorias de la empresa, las características de las partículas de arenas que se desean eliminar.

Los principales parámetros de diseño corresponden a el caudal de entrada a la unidad, la superficie de los desarenadores y la velocidad de sedimentación de las áreas.

La ecuación de diseño de los desarenadores es la siguiente:

Ecuación 3: Diseño Desarenadores

$$A_x = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{v_s \left(\frac{m}{s} \right)}$$

Fuente: Elaboración Propia

Para la Ecuación 3, el valor de A_x Ecuación 3: Diseño Desarenadores corresponde al área de sección horizontal del desarenador.

Tabla 5: Parámetros Desarenadores

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro superior	0,15	mm
Densidad relativa	2,65	
Velocidad sedimentación	0,02	m/s
Ancho desarenador	4	m
Largo desarenador	4	m
Área desarenador	16	m ²

Fuente: Elaboración Propia

Para el diagnóstico realizado en estos procesos se utilizaron los mismos caudales que en el apartado anterior. Además, también se considera que existen 2 desarenadores, porque el caudal se divide en la mitad. En la Tabla 6, se puede apreciar el gran problema que existe en este proceso, ya que el área actual de los desarenadores es claramente inferior a los necesarios dado los 16m² que posee cada desarenador.

La principal razón o explicación que se puede encontrar al mal funcionamiento de este proceso corresponde al aumento en el caudal de la planta, ya que, dado el aumento en la velocidad, las partículas no tienen el tiempo necesario para realizar el proceso de sedimentación de las arenas.

Tabla 6: Parámetros diseño desarenadores

Parámetro	Caudal Máximo Diseño	Caudal Máximo Promedio 2018
Caudal máximo horario (m3/s)	0,451	0,5475
Área necesaria sedimentación (m2)	22,6	27,3
% Variación	41%	71%

Fuente: Elaboración Propia

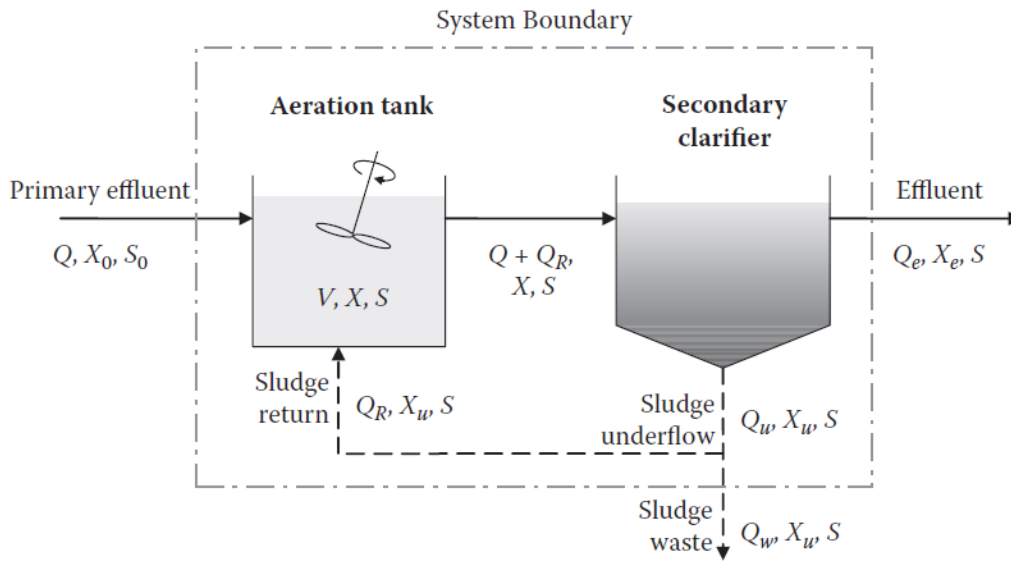
En el Anexo 5 se encuentra información con relación a los cálculos realizados.

3.4. Procesos de lodos activados

La planta de tratamiento de aguas servidas cuenta con un tratamiento biológico aeróbico de lodos activados. El proceso correspondiente al tipo crecimiento suspendido más usado para el tratamiento biológico corresponde a lodos activados. Este proceso cuenta básicamente con tres componentes principales, un reactor biológico donde los microorganismos se mantienen en suspensión y aireados, un estanque de sedimentación o clarificador y un sistema de reciclaje para el retorno de los sólidos que se depositan en el fondo de los sedimentadores hacia los reactores. El aire que se introduce en los reactores con el propósito de realizar una mezcla de las aguas servidas y de entregar a los microorganismos el oxígeno necesario para realizar el proceso de oxidación de las bacterias. Estos microorganismos degradan la materia orgánica dentro de las aguas servidas y la convierte en masa celular. Luego la mezcla va hacia los sedimentadores o clarificadores secundarios, donde se realiza la clarificación del afluente, además del espesamiento y sedimentación de los sólidos. El efluente de los clarificadores es descargado a hacia el proceso de desinfección con cloro en la cámara de contacto. Una porción de los sólidos sedimentados o lodos son desechados (se le llama *waste activated sludge*, WAS), mientras que la fracción restante es devuelta a los estanques de aireación y se le llama *return activated sludge* (RAS). El lodo retornado ayuda a mantener una alta concentración de biomasa activa en los reactores. En la Ilustración 5 se puede apreciar un esquema del proceso de lodos activados.

El tratamiento secundario de la planta consiste en tres reactores de sección rectangular de 25m de ancho y 50m de largo, separadas por muros de hormigón armado y con una profundidad de 7 metros. Además, la sedimentación secundaria consiste en cuatro sedimentadores circulares de 38m de diámetro y con una altura vertical de 4m.

Ilustración 5: Esquema proceso lodos activados



Fuente: (Riffat, 2013)

3.4.1. Diseño y parámetros operacionales

Las siguientes son definiciones de parámetros operacionales básicos para el tratamiento biológico en reactores:

- **Sólidos suspendidos en licor de mezcla (SSLM):** Concentración de biomasa en el reactor biológico.
- **Sólidos suspendidos volátiles en licor de mezcla (SSVLM):** Corresponde a la fracción volátil de la concentración de sólidos que se encuentran en el reactor biológico.
- **Tiempo retención de sólidos (SRT):** También llamado edad del lodo o tiempo medio de residencia celular. Corresponde a la cantidad de tiempo que pasa una unidad de masa de lodo activado dentro del reactor. Es el parámetro más importante de diseño y operación,

ya que afecta el desempeño del proceso, volumen del estanque de aireación, producción de lodos y requerimiento de oxígeno.

- **Razón F/M:** corresponde a la proporción de alimentos a microorganismos en el reactor. Este parámetro es importante, ya que dicta en qué fase de crecimiento se encuentran los microorganismos dentro de su curva de crecimiento.
- **Tiempo retención hidráulico (HRT):** corresponde al tiempo que pasa una partícula de fluido dentro del reactor

Tabla 7: Parámetros diseño tratamiento biológico

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal Afluyente (Q)	1095	L/s
Caudal Efluyente (Q _e)	1095	L/s
Caudal purga lodos WAS (Q _w)	15	L/s
Volumen Reactores (V)	26250	m ³
Temperatura reactores	20	°C
DBO Afluyente (S _o)	231,71	mg O ₂ /L
DBO Efluyente (S)	9,24	mg O ₂ /L
SSLM (X)	3682	mg/L
SSVLM	2783	mg/L
Concentración SST RAS (X _u)	7339	mg/L
Concentración SSV RAS	5536	mg/L
Concentración SST WAS (X _u)	7342	mg/L
Concentración SSV WAS	5543	mg/L
Concentración SST Efluyente (X _e)	20,2	mg/L
Concentración solidos suspendidos sedimentador	5512	mg/L

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar los cálculos de diseño del tratamiento biológico se reunió información correspondiente a todo el año 2018, en donde se utilizaron los caudales máximos horario como valor sugerido por la empresa, con el fin de realizar un diseño de planta que permita soportar el

funcionamiento a caudal máximo horario. Además, se utilizaron las características actuales de la infraestructura de la planta para apoyar los parámetros operacionales de la planta.

En la Tabla 7 se presentan los valores utilizados para el cálculo de los parámetros operacionales.

A continuación, en la Tabla 8 se realiza una comparación entre los valores obtenidos de los parámetros operacionales y de diseño, ya sea para el caudal horario máximo de diseño de la planta como para el caudal horario máximo del año 2018. Además, se presentan rangos que entrega la literatura entre los cuales deben oscilar los valores para asegurar un correcto tratamiento.

Tabla 8: Comparativa Parámetros Operacionales

Parámetros	Caudal Diseño	Caudal 2018	Rangos Permitidos	Unidad
Sólidos suspendidos licor de mezcla (SSLM)	3.000	3.682	2.500-6.500	mg/L
Tiempo retención sólidos (SRT)	12	9	5-15	días
Razón F/M	0,163	0,26	0,2-0,6	mg DBO/ mg SSVLM días
Tiempo retención hidráulica (HRT)	11	7,2	4-8	Horas

Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior es posible concluir que a pesar de que se presente un aumento del caudal de entrada de la planta la infraestructura actual es capaz de asegurar un correcto tratamiento biológico de las aguas servidas. Sin embargo, al realizar un análisis de los parámetros físico al reactor y sedimentadores, fue posible apreciar que, para lograr el correcto funcionamiento anteriormente mencionado, para caudal horario máximo del 2018, es necesario un aumento tanto en el volumen de los reactores como también en el área de sedimentación de los sedimentadores.

Tabla 9: Parámetros necesarios VS actuales

Parámetros	Caudal diseño	Caudal 2018	Valor real	Unidad
------------	---------------	-------------	------------	--------

Volumen Reactor	23.313	28.364	26.250	m3
Área Sedimentadores	4.125	5.020	4.536	m2
Profundidad manto lodo	1,88	1,89	2,92	m
Profundidad total mínima clarificador	3,38	3,39	4	m

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 9, es posible apreciar que, para el caudal máximo horario de diseño, la infraestructura actualmente instalada es suficiente. Luego, para caudal máximo horario del 2018, sería necesario una mejora en la infraestructura, principalmente en el área de sedimentadores. En el

3.5. Digestión lodos

Los sólidos que son generados desde el tratamiento primario, secundario y procesos de tratamiento avanzados, son llamados lodos.

La digestión de lodos corresponde al proceso de estabilización de los lodos, la cual busca reducir los patógenos, eliminar olores ofensivos e inhibir, reducir o eliminar el potencial de putrefacción.

La planta realiza la estabilización de lodos a través de digestores aeróbicos, el cual funciona de manera similar al proceso de lodos activados. Conforme se agota el suministro de sustrato o alimento disponible, los microorganismos consumen su propia masa celular para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular.

La unidad de digestión aeróbica de la planta ha sido dimensionada para operar como unidad de espesamiento/digestión. Consiste en un estaque rectangular, de 7m de profundidad y de 9534m³. El espesamiento se logra dejando sedimentar el lodo y retornando el sobrenadante hacia los estanques de aireación.

El principal parámetro de diseño que se analizó en este proceso corresponde al volumen que debe tener el digestor para cumplir con los requerimientos de la planta, el cual, según los cálculos realizados, corresponde a 9.715m³, siendo menor a lo que se encuentra realmente instalado en la planta.

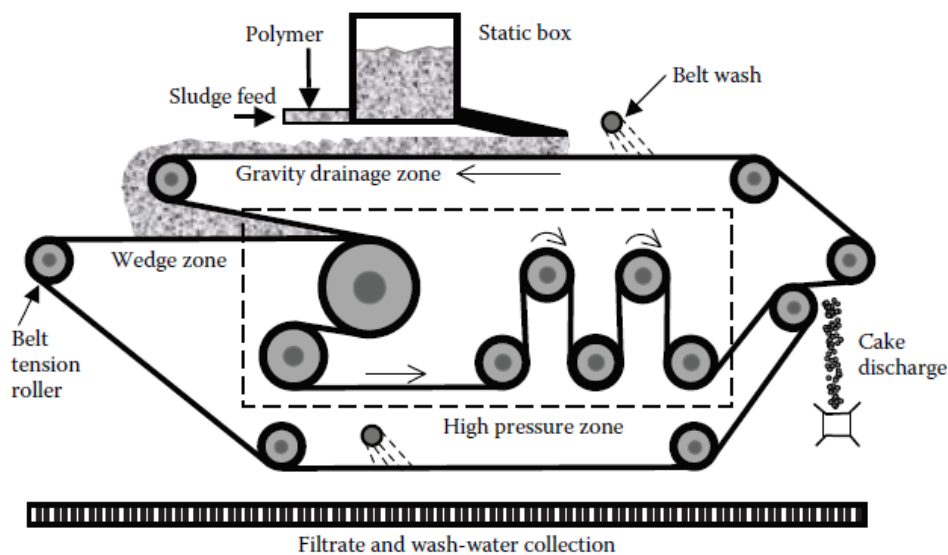
3.6. Deshidratación de lodos

El proceso de deshidratación es utilizado para reducir el volumen del lodo tratado al reducir el contenido de humedad. La deshidratación es un proceso que se realiza con unidades físicas. El lodo deshidratado es más fácil de manejar y transportar hacia su disposición final. Un menor volumen de los lodos debido al bajo contenido de agua reduce los costos de transporte.

La deshidratación de los lodos digeridos en la planta se efectúa en los filtros de banda, que incluye un estanque de floculación en donde se le incorporan polímeros de forma de acondicionar el lodo digerido.

En la Ilustración 6 se puede apreciar un esquema del funcionamiento del filtro de bandas.

Ilustración 6: Esquema filtro de bandas



Fuente: (Riffat, 2013)

Las variables para destacar dentro del cálculo o dimensionamiento de los filtros de bandas corresponden a la cantidad de lodos a deshidratar, la tasa de carga o la cantidad de lodos de deshidrata el filtro por metro de tela (ancho) y el tiempo de trabajo de la maquinaria. En la Tabla 10 se muestran los parámetros utilizados para el cálculo realizado además de una comparación al final del ancho de banda requerido con el que existe actualmente.

Como se puede apreciar en la tabla en necesario destacar el resultado final de los cálculos, el cual indica que existe un mayor ancho de banda al necesario, es decir, que para la producción de lodos asociado a caudal horario máximo del año 2018 la capacidad actualmente instalada cumple con los requerimientos.

Tabla 10: Parámetros diseño filtro de bandas

Parámetro	valor	unidad
Producción de lodos a deshidratar	481	kg/h
Porcentaje de solidos	1%	-
Tiempo de operación diaria	15	h/d
Tiempo de operación semanal	7	d/sem
tasa carga de banda del filtro	150	kg/m h
Capacidad de deshidratación total	600	kg/h
Ancho de banda requerido	3,21	m
Total ancho de banda actual	4	m

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Desinfección

La desinfección hace referencia a la destrucción de organismos capaces de causar enfermedades. No todos los organismos son destruidos durante el proceso. La desinfección es comúnmente realizada mediante agentes químicos, agentes físicos, medios mecánicos y radiación.

La variable más importante en este proceso corresponde al tiempo de contacto, ha sido observado que, para una concentración a desinfectar, entre más grande es el tiempo de contacto, es mayor la desinfección.

La planta de tratamiento cuenta con un estanque de contacto de 32m de largo y 15m de ancho, con una altura de agua en el estanque de 2,4m. Existe dos unidades operando en paralelo, cada cámara cuenta con 4 canales de 32metros de largo y 1,5m de ancho.

Es necesario destacar que el cálculo del tiempo de contacto se realiza en base al caudal horario máximo de la planta, ya sea de diseño como del año 2018. Además, el tiempo de contacto debe ser de mínimo 30 minutos para caudal medio y de 20 minutos a caudal horario máximo.

En la Tabla 11 es posible apreciar que actualmente no se logra cumplir con el mínimo tiempo que debe estar el cloro en contacto con el efluente para realizar la correcta remoción de patógenos.

Tabla 11: Tiempo contacto caudal diseño vs año 2018

Parámetro	Tiempo retención hidráulico	unidad
Caudal diseño	17	min
Caudal 2018	14	min

Fuente: Elaboración Propia

3.8. Conclusión diagnostico

Las dos variables para considerar cuando se realiza el diseño de una planta de tratamiento de aguas servidas corresponden al caudal de agua y a la carga biológica dentro de este caudal. Es por esto que es posible concluir y como se ha visto plasmado en gran parte del diagnóstico, el principal responsable dentro del deficiente funcionamiento dentro de la planta, corresponde al aumento del caudal que ha presentado la planta en los últimos años. Es necesario destacar, además que el dimensionamiento de esta fue realizado hace varios años atrás y desde ese punto a la actualidad, no han realizado cambios considerables que ayuden a aumentar la capacidad que posee la planta.

Otro factor importante para considerar es que el proceso que se encuentra en estado más crítico corresponde al desarenador, ya que este no posee el área necesaria para realizar la correcta eliminación de las arenas y que ha causado una contaminación progresiva de la planta, que ha causado que la aireación de las bacterias dentro de los reactores biológicos no sea la correcta, producto de esto, lo que a su vez está causando problemas en la eliminación de nitrógeno del sistema.

CAPÍTULO 4: SELECCIÓN Y DISEÑO DE MEJORAS

En el presente capítulo se vuelven a analizar los procesos, pero en este caso se utilizará tanto el caudal y carga orgánica pronosticada para el año 2025 para identificar los procesos críticos. Además, se realiza la sección y diseño de las mejoras a realizar.

4. Selección y Diseño de Mejoras

Como se mencionó con anterioridad, uno de los objetivos de este proyecto corresponde en asegurar el correcto funcionamiento de la planta dentro de los próximos 10 años. Para eso es necesario realizar en primera instancia una proyección de cuáles serán los caudales y cargas orgánicas que poseerá el afluente de la planta y luego evaluar y analizar cómo se comportaran los diferentes procesos con este cambio considerando los equipos actualmente instalados para así detectar las etapas en las que se deben desarrollar propuestas. Finalmente se realizará la selección de la metodología de trabajo para los procesos críticos y así realizar el diseño de equipamientos necesarios.

4.1. Pronóstico de Afluente

La empresa Nuevosur se encarga de realizar proyectos de ampliación de diferentes plantas. Para eso realizan anualmente un pronósticos de las características que poseerá el afluente de las distintas plantas de empresa, considerando tanto el aumento de caudal de entrada producto de las distintas variables que afectan como lo es por ejemplo el aumento de la población, como también entregar un estimado de cuáles serán las características orgánicas que poseerán estos caudales para así realizar un correcto tratamiento biológicos de las diferentes bacterias que se encuentran en las aguas servidas.

Para la realización de este proyecto se utilizaron las proyecciones realizadas por la empresa para la planta de tratamiento de aguas servidas, en donde se realiza inicialmente una proyección de la población que será saneada por la planta, posterior a eso se le asocia una dotación de consumo, el que corresponde a un estimado de la cantidad de agua que utiliza un habitante promedio al día, este total corresponde a la porción domiciliaria de las aguas servidas que trata la planta. Luego de esto se le incorporan otros factores como por ejemplo las infiltraciones para así llegar al caudal total a tratar. Luego se utiliza un factor llamado *Harmon* que multiplica al caudal medio para así llegar al caudal máximo horario.

En la Tabla 12 y

Para evaluación de los procesos actuales y el diseño de alternativas se utilizará un caudal un caudal máximo horario de 1090l/s, DBO afluente de 274mg/l y solidos suspendidos totales de 205mg/l. Es importante destacar que en las proyecciones que realiza la empresa, existen factores diferenciadores entre los periodos de invierno y verano, sin embargo, para la evaluación de los procesos se opta por situar a la planta en las condiciones verano, ya que incluye los más altos valores en relación a carga orgánica y contaminación de afluente.

Tabla 13 se puede apreciar las proyecciones de caudal y carga realizadas por la empresa, cabe destacar que se utilizara el caudal máximo horario medio anual y las concentraciones medias del año 2025 para realizar la las evaluación de los equipos de planta.

Tabla 12: Datos Caudales Máximo PTAS

Año	Caudal medio total (Vs)			Qmáximo total	
	Medio anual	Medio verano	Medio invierno	diario (Vs)	horario (Vs)
2006	703,8	623,6	792,1	887,7	947,9
2007	722,9	646,6	808,1	911,7	970,4
2008	749,2	678,1	830,1	944,7	1.003,1
2009	776,2	710,5	852,7	978,6	1.036,1
2010	787,6	724,1	862,3	992,9	1.050,1
2011	793,4	731,1	867,1	1.000,2	1.057,4
2012	799,1	737,9	871,9	1.007,3	1.064,3
2013	804,6	744,5	876,5	1.014,2	1.071,1
2014	809,9	750,8	880,9	1.020,9	1.077,5
2015	815,1	757,0	885,2	1.027,4	1.083,8
2016	820,1	763,0	889,4	1.033,7	1.089,7
2017	824,9	768,8	893,5	1.039,7	1.095,5
2018	825,7	769,8	894,1	1.040,7	1.095,5
2019	826,2	770,4	894,6	1.041,4	1.095,1
2020	826,5	770,7	894,8	1.041,7	1.094,4
2021	826,8	771,0	895,0	1.042,1	1.093,7
2022	827,0	771,4	895,2	1.042,4	1.093,0
2023	827,3	771,7	895,5	1.042,7	1.092,3
2024	827,6	772,0	895,7	1.043,1	1.091,6
2025	827,8	772,3	895,9	1.043,4	1.090,9

Fuente: Nuevosur S.A:

Para evaluación de los procesos actuales y el diseño de alternativas se utilizará un caudal un caudal máximo horario de 1090l/s, DBO afluente de 274mg/l y solidos suspendidos totales de 205mg/l. Es importante destacar que en las proyecciones que realiza la empresa, existen factores diferenciadores entre los periodos de invierno y verano, sin embargo, para la evaluación de los procesos se opta por situar a la planta en las condiciones verano, ya que incluye los más altos valores en relación a carga orgánica y contaminación de afluente.

Tabla 13: Datos Concentración Media PTAS

Año	Concentración media (mg/l)						Concentración verano (mg/l)						Concentración invierno (mg/l)					
	DBO ₅		SST	NKT	NH ₃	PT	DBO ₅		SST	NKT	NH ₃	PT	DBO ₅		SST	NKT	NH ₃	PT
	Media	Max. Diaria					Media	Max. Diaria					Media	Max. Diaria				
2006	129	161	120	41	27	6	160	200	150	51	33	7	91	114	85	29	19	4
2007	139	173	130	45	29	6	171	214	160	55	36	8	99	123	92	32	21	5
2008	147	184	138	47	31	7	179	224	168	58	37	8	106	132	99	34	22	5
2009	155	194	145	50	32	7	187	234	175	60	39	9	112	141	105	36	23	5
2010	158	198	148	51	33	7	190	237	178	61	40	9	115	144	108	37	24	5
2011	160	199	149	51	33	7	191	239	179	61	40	9	116	145	109	37	24	5
2012	161	201	150	52	34	7	192	240	180	62	40	9	117	146	110	38	24	5
2013	162	203	152	52	34	7	193	241	181	62	40	9	118	148	111	38	25	5
2014	163	204	153	52	34	8	194	243	182	62	41	9	119	149	112	38	25	6
2015	165	206	154	53	34	8	195	244	183	63	41	9	120	151	113	39	25	6
2016	166	207	155	53	35	8	197	246	184	63	41	9	122	152	114	39	25	6
2017	167	209	156	54	35	8	198	247	185	64	41	9	123	153	115	39	26	6
2018	169	212	158	54	35	8	200	250	187	64	42	9	124	155	116	40	26	6
2019	172	214	160	55	36	8	203	254	190	65	42	9	126	157	118	40	26	6
2020	174	217	163	56	36	8	206	257	192	66	43	10	128	159	119	41	27	6
2021	176	220	165	57	37	8	208	260	195	67	43	10	129	162	121	42	27	6
2022	178	223	167	57	37	8	211	264	197	68	44	10	131	164	123	42	27	6
2023	181	226	169	58	38	8	214	267	200	69	45	10	133	166	124	43	28	6
2024	183	229	171	59	38	8	217	271	203	70	45	10	134	168	126	43	28	6
2025	186	232	174	60	39	9	219	274	205	70	46	10	136	170	127	44	28	6

Fuente: Nuevosur S.A:

4.2. Evaluación desbaste

Al realizar una evaluación del proceso de desbaste utilizando los nuevos parámetros, se obtuvo que utilizando en paralelo las dos rejillas mecánicas existentes actualmente en la planta (Tabla 2) bastaría para realizar un buen proceso de remoción de sólidos de mayor tamaño sin problemas. Sin embargo, sigue existiendo la problemática actual en la que en caso de fallo de alguna de estas rejillas, una no bastaría para filtrar el afluente total de la planta.

En la Tabla 14 se pueden observar los valores de los parámetros principales dentro del desbaste, los cuales corresponden a la velocidad de agua que se aproxima, como la velocidad de paso a través de las rejillas, las cuales se encuentran dentro de los rangos de diseño que se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 14: diseño desbaste 2029

Variable	unidad	Promedio Caudal 2018	
		50% Caudal Reja	100% Caudal Reja
Caudal por reja	m ³ /s	0,545	1,09
Altura agua	m	0,7	0,7
Velocidad máxima aproximación	m/s	0,65	1,30
velocidad máxima de paso	m/s	0,90	1,81

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Diseño desarenado

Como se mencionó en el capítulo anterior, uno de los procesos que se encontraba en una situación crítica, debido a la ineficiente eliminación de arena por parte de los desarenadores producto del aumento en los caudales de afluente de la planta. Dado que el método de eliminación de arena actual de la planta es a base de sedimentación mediante desarenadores cuadrados de flujo horizontal. Los cuales no poseen la superficie suficiente para permitir la correcta sedimentación.

Para el rediseño de este proceso se utilizarán dos métodos, el ya existente de sedimentadores cuadrados de flujo horizontal y desarenadores aireados. Además, se utilizarán las mismas características de la arena que se encuentran en la Tabla 5, en lo que respecta al diámetro, gravedad específica y velocidad de sedimentación de la arena.

4.3.1. Evaluación tecnologías desarenado

Para evaluar las mejoras en el proceso de desarenado, se considerarán 2 métodos, desarenadores cuadrados de flujo horizontal y desarenadores aireados.

4.3.1.1. Sedimentadores cuadrados de flujo horizontal

Corresponde a la tecnología utilizada actualmente y que utiliza como principal variable la velocidad de sedimentación propia de las partículas de arenas relacionada con su gravedad específica.

Para el cálculo de los desarenadores cuadrados, se utilizará la Ecuación 3 para el nuevo caudal máximo horario, además se cuentan actualmente con dos desarenadores de 16m² de superficie.

El la Tabla 15 se puede apreciar que el área faltante de desarenado corresponde a 22,5m² aproximadamente. Esto se traduce en la necesidad de construir un tercer desarenador de aproximadamente 5m de largo y 5m de ancho para realizar la correcta remoción de las arenas.

Tabla 15: Diseño desarenador cuadrado faltante

Parámetro	Total
Caudal máximo horario (m ³ /s)	1,09
Área necesaria sedimentación (m ²)	54,5
Área desarenado faltante (m ²)	22,5

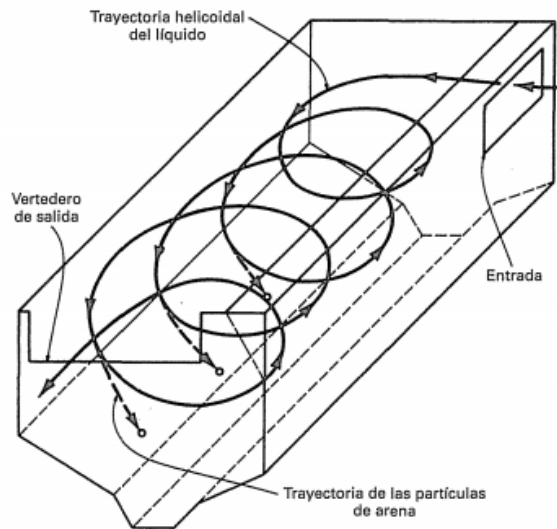
Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. desarenadores aireados

Los desarenadores aireados buscan generar la sedimentación de las arenas a través de la inyección de aire que produce un flujo espiral dentro del estanque, el cual ayuda a mejorar la sedimentación de las arenas dentro de los estanques. En la Ilustración 7 es posible apreciar el flujo que se genera dentro de los desarenadores aireados.

Para el diseño de estos equipos es necesario tener en cuenta diferentes parámetros para que el funcionamiento del desarenador sea el correcto. Variables como el tiempo de retención, razón de ancho-alto, razón largo-ancho o aire requerido.

Ilustración 7: Modelo flujo helicoidal desarenador aireado



Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

En la Ilustración 8 se aprecian los parámetros de diseño de los desarenadores aireados.

Ilustración 8: Información diseño desarenadores aireados

Elemento	Valor	
	Intervalo	Típico
Tiempo de detención a caudal punta, min	2-5	3
Dimensiones:		
Profundidad, m	2,0-5,0	
Longitud, m	7,5-20,0	
Anchura, m	2,5-7,0	
Relación anchura-profundidad	1:1 a 5:1	1,5:1
Relación longitud-anchura	3:1 a 5:1	4:1
Suministro de aire, m ³ /min · m de longitud	0,18-0,45	
Cantidad de arena, m ³ /10 ⁶ m ³	4,0-195,0	15,0

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Dado lo anterior, y posterior a los cálculos, se determinó que para cubrir con el caudal horario máximo proyectado al año 2029, se necesitaran de 2 desarenadores aireados de 12m de largo, 4m de ancho y 2m de profundidad.

Tabla 16: Desarenadores aireados propuestos

Parámetro	Valor	unidades
Caudal horario máximo	1,09	m ³ /s
tiempo de retención	3	min
volumen total	196,2	m ³
N° desarenadores	2	unidades
Largo	12	m
Ancho	4	m
Profundidad	2	m
Volumen total unitario	96	m ³

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Selección metodología desarenado

Para la selección de la metodología de selección de la tecnología es necesario analizar un análisis de los criterios específicos a considerar, posteriormente se realiza una matriz de priorización para determinar para definir el porcentaje de importancia de cada criterio. Finalmente, se realiza una matriz de ponderación que define la mejor alternativa.

Los criterios que se consideraron para la selección de la metodología son los siguientes:

- **Costo inversión:** corresponde al costo que se incurre en la instalación de la tecnología, en este caso está relacionado con el costo de la obra civil necesaria para la instalación del estanque.
- **Costo operacional:** costo necesario para mantener en funcionamiento el proceso. Está relacionado con el costo energético que poseen los equipos dentro de cada metodología.
- **Costos de mantención:** corresponde a los costos para la mantención del correcto funcionamiento del equipo.
- **Personal especializado:** corresponde a la necesidad de contar un trabajador con conocimientos especializados en esta metodología.
- **Vida útil:** corresponde al tiempo en que el equipo funcionara de forma normal.

Cada uno de estos criterios tiene un porcentaje asignado determinado a través de una matriz de priorización.

La matriz de multicriterio se realiza bajo escala de nota de 1 a 5. La Tabla 19 muestra el significado de cada uno de los puntos.

Tabla 17: Puntajes para la construcción de matriz de ponderación

Puntaje	Valor
1	Muy malo
2	Malo
3	Medio
4	Bueno
5	Muy bueno

Fuente: Elaboración Propia

Dada la información de diseño que se encuentra en la Tabla 15 y Tabla 16, además de consultas realizadas con expertos, se calcula la matriz de ponderación para la mejor alternativa.

En la Tabla 18 se puede apreciar en la alternativa a seleccionar corresponde a nuevo desarenador cuadrado de flujo horizontal. Esto se debe a que, si bien los desarenadores aireados tendrían menor costo de inversión producto de que se utilizaría las mismas obras civiles que hay actualmente, los bajos costos de operación como el aumento en la vida útil, producen que se transforme en la mejor alternativa.

ya que, si bien se incurren mayores costos de inversión, sus bajos costos de operación, producto de que no necesita la ayuda de aire para la sedimentación de las arenas y además de que no necesita tantos costos de mantención.

Tabla 18: Matriz selección tecnología desarenado

ITEM	Criterios	Porcentaje (%)	Desarenador cuadrados flujo horizontal	Desarenador aireado
A	Costo de inversión	35	2	3
B	Costo operacional	30	4	2
C	Costo mantención	15	3	2
D	Personal especializado	5	5	4
E	Vida útil	15	5	3
		Total	3,35	2,6

4.4. Evaluación Tratamiento biológico

Como se pudo destacar anteriormente, el diseño tanto de los aireadores como de los sedimentadores deben realizarse de forma conjunta debido a que el sistema de lodos activados. Dado que el tratamiento biológico es el más importante tanto en costos como infraestructura dentro de la planta, el diseño de esta etapa está orientada a determinar la ampliación de los equipos existentes que a determinar y diseñar métodos distintos de tratamiento biológico.

Para el cálculo y dimensionamiento de los equipos de esta etapa se busca replicar la situación actual de la planta en lo que respecta al funcionamiento de los equipos y evaluarlos con los nuevos parámetros de entrada de la planta. Con esto se busca mantener constante las diferencias de concentraciones en las diferentes etapas de la planta, como por ejemplo la relación entre de solidos suspendidos en el licor de mezcla y la concentración en la línea de reciclo del proceso.

Es necesario destacar para se tomaron en cuenta los rangos para los parámetros operacionales que se encuentran en la Tabla 8, especialmente el tiempo de retención de lodos, tiempo de retención hidráulico y la razón F/M.

Para el cálculo de el rediseño del tratamiento biológico se útil los parámetros que se encuentran en la Tabla 19.

Tabla 19: Parámetros operacionales tratamiento biológico

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal Afluyente (Entrada)	1090	L/s
Caudal Efluente (salida)	1090	L/s
Tiempo retención solidos (SRT)	10	días
DQO Afluyente (Entrada)	583	mg/L
DBO Afluyente (Entrada)	274	mg/L
DQO Efluente (Salida)	30	mg O ₂ /L
DBO Efluente (Salida)	13,2	mg O ₂ /L
SSLM (SST reactor)	3500	mg/L
SSVLM (SSV reactor)	2625	mg/L
Concentración SST RAS	7000	mg/L
Concentración SSV RAS	5250	mg/L
Concentración SST WAS	7000	mg/L
Concentración SSV WAS	5250	mg/L
Concentración SST Efluente	20,2	mg/L
SRT (tiempo retención sólidos, edad de lodo, tiempo promedio residencia celular)	10	días
Concentración solidos suspendidos sedimentador	5250	mg/L
Porcentaje de masa del aireador en sedimentador	50%	porcentaje

Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que se busca mantener una concentración de solidos suspendidos totales en licor de mezcla de 3500mg/L, además de igualdad de caudal entre el afluyente y efluente del sistema. Además, se realiza el diseño de la planta considerando un tiempo de retención de sólidos y temperatura promedio de reacción de 10 días y 20° Celsius respectivamente. Finalmente se utilizó un porcentaje de eficiencia del proceso de un 95% en la remoción de DBO.

Para la realización del diseño se utiliza el mismo método utilizado para calcular el diagnostico de este proceso en el capítulo 3.

Tabla 20: Requerimientos de diseño Vs situación actual

Parámetros	Caudal 2025	Valor real	Unidad
Volumen Reactor	35.119	26.250	m3
Área Sedimentadores	5.499	4.536	m2
Profundidad manto lodo	2,12	2,92	m
Profundidad total mínima clarificador	3,6	4	m
Porcentaje de masa de los reactores en los sedimentadores	50	76	%

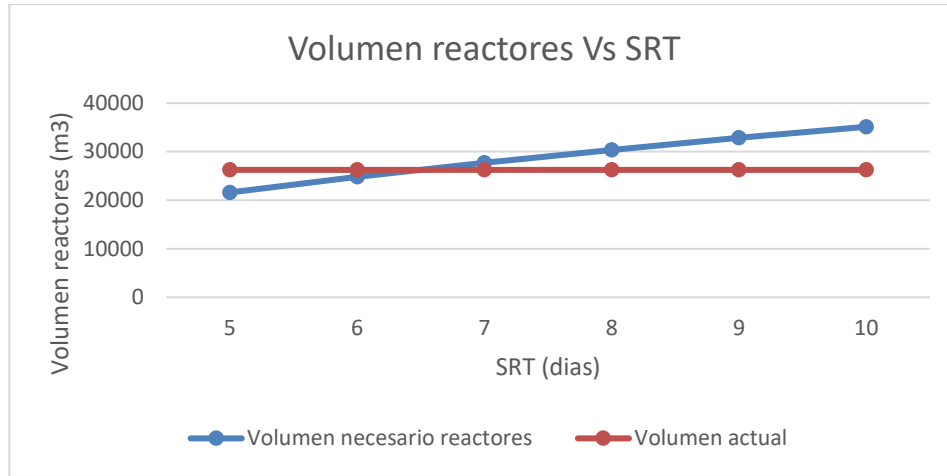
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 20, se requiere un aumento de volumen tanto en los estanques de aireación o reactores, como en los sedimentadores secundarios. Sin embargo, es necesario destacar que el volumen de los reactores se calculó bajo el supuesto de que la planta recibe un caudal horario máximo durante un día completo, además de un tiempo de retención de sólidos de 10 días. Considerando que el tiempo de retención de sólidos puede ser de un mínimo de 5 días y la variabilidad que tiene el caudal de entrada a la planta durante el día, es posible determinar que el volumen actual de los estanques de aireación sería lo suficientemente grandes para realizar un correcto tratamiento biológico.

En la Ilustración 9 se puede observar cómo disminuye el volumen requerido de los estanques de aireación a medida que disminuye el tiempo de residencia necesario de los lodos en los reactores para la situación proyectada.

Sin embargo, con relación al área necesaria para el proceso de sedimentación secundaria, el cálculo del área se realiza tomando en cuenta la carga orgánica que entra a la planta durante una hora a caudal horario máximo, por lo que es posible concluir que se necesitaría otro sedimentador.

Ilustración 9: Grafico relación volumen reactores Vs SRT



Fuente: Elaboración Propia

4.4.1. Diseño Clarificador secundario

Al utilizar los parámetros de entrada de la planta que se encuentran en la Tabla 19 junto con la Ecuación 16 es posible determinar el área necesaria para realizar la correcta sedimentación de los lodos. En la Tabla 21 se pueden apreciar cuales serían los parámetros mínimos que debería tener el nuevo estanque sedimentador para permitir una correcta sedimentación de los lodos. Es tan solo determinar la cantidad de área que se requiere en la Tabla 20 y contrastarla con que existe actualmente en la Tabla 9

Tabla 21: Parámetros nuevo sedimentador

Parámetros	Valor requerido	Unidad
Área sedimentador	1.018	m ²
Diámetro Sedimentador	36	m
Profundidad sedimentador	4	m

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Diseño cámara de contacto

Para finalizar con la línea de agua, terminamos con el diseño del estanque de contacto para la desinfección final de las aguas provenientes de los sedimentadores secundarios. Del diagnóstico

se rescató que las cámaras que actualmente están construidas no alcanzan a mantener los tiempos mínimos de contacto entre el agua y el cloro.

En la Tabla 22 se pueden apreciar los tiempos mínimos de retención que debe tener la cámara de contacto, en donde se debe asegurar un tiempo de 30 minutos de contacto para caudal medio, mientras que, para caudal horario máximo, el tiempo mínimo de retención en la cámara debe ser de 20 minutos.

Tabla 22: Tiempo mínimo de retención cámara de contacto

Parámetros	Tiempo contacto mínimo	Unidad
Caudal medio	30	min
Caudal horario máximo	20	min

Fuente: SISS

Para el diseño de la nueva cámara de contacto se tomaron en cuenta las mismas características que posee la cámara que se encuentra actualmente en la planta en relación con el ancho de la cámara y la cantidad de vueltas que el caudal da dentro de la cámara. Correspondiente un canal de 1,5m de ancho y 2,4m de alto, con un total de 4 vueltas en cada canal.

Considerando lo actualmente mencionado y tomando en cuenta un caudal horario máximo de 1090l/s y un caudal medio de 895l/s, se obtiene que el largo mínimo de debe tener el nuevo estanque de contacto corresponde a 29m. En donde el nuevo estanque posee dos cámaras de contacto al igual que se encuentra actualmente funcionando.

4.6. Evaluación digestor aeróbico

Dado que el capítulo anterior se concluyó que el digestor no era una de las unidades criticar de otro de la planta, se realizó una reevaluación de ente proceso, solo que considerando los nuevos parámetros de entrada de la planta.

Utilizando la misma metodología utilizada en la realización del diagnóstico, tenemos que, para las nuevas condiciones tanto de caudal como de carga biológica, el área necesaria para digerir un día completo de carga biológico a caudal horario máximo corresponde a 10.939 m³. Dada la alta variabilidad que posee el caudal de la planta, se puede asumir que con el

volumen actual de los digestores aeróbicos (9.534m³) bastaría para realizar un buen tratamiento de los lodos que se produzcan en la planta de tratamiento.

4.7. Evaluación proceso deshidratado

Luego del proceso de digestión de lodos, se procede con la etapa de deshidratación. Anteriormente se determinó que, para la situación actual de la planta de tratamientos, los equipos que se encuentra actualmente instaladas tiene la capacidad de procesar los lodos producidos en la planta, sin embargo, dado el aumento que existe en la carga biológica, es necesario comprobar si se cuenta con la capacidad necesario para deshidratar el aumento en la cantidad de lodo a procesar.

Tabla 23: Diseño filtros banda situación proyectada

Parámetro	valor	unidad
Producción de lodos a deshidratar	937	kg/h
Porcentaje de solidos	1%	-
Tiempo de operación diaria	15	h/d
Tiempo de operación semanal	7	d/sem
tasa carga de banda del filtro	150	kg/m h
Capacidad de deshidratación total	600	Kg/h
Ancho de banda requerido	6,25	m
Ancho de banda actual	4	m

Fuente: Elaboración Propia

Como se menciona en el capítulo 3, prensas de filtro de bandas es la tecnología que se encuentra actualmente instalada en la planta, donde se cuentan con 2 filtros de bandas con un ancho de banda de 2m cada uno y con una capacidad de carga de 150kg de lodo por metro de ancho de tela por hora. Es por esto que se utiliza la misma metodología de diseño que se utilizó en el diagnóstico.

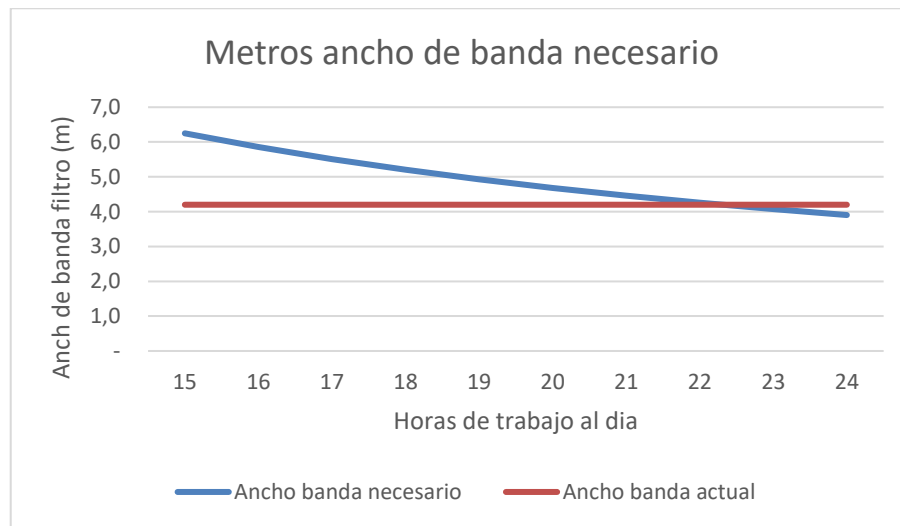
En la Tabla 23 se pueden apreciar las cómo se conservan las características tanto de los equipos en lo que se refiere a capacidad de deshidratación, los tiempos de trabajo de los filtros

de bandas, como también las características de los lodos a ser deshidratados en lo que respecta al porcentaje de sólidos en el lodo.

4.7.1. Prensa filtro de bandas

Dado lo anterior es posible concluir que, para la proyección de producción de lodos proyectada, no se cuenta con la capacidad suficiente de deshidratación. Existe un déficit de 337 kg de lodos por hora que debe ser deshidratado. Es por esto para realizar un correcto proceso de deshidratación es necesario incorporar un nuevo filtro de banda con la capacidad de deshidratar la cantidad de lodo antes mencionada. Para esto existe dos opciones, adquirir un filtro de banda de una mayor capacidad de carga, o si se adquiere un equipo con la misma capacidad de lodos que las que actualmente existen, esta debe ser de al menos 2,25m de ancho de banda. De ser adquiridos filtros de banda de la misma capacidad de los que se encuentran instalados actualmente, para una correcta deshidratación de los lodos proyectados, se requerirán 2 equipos adicionales.

Ilustración 10: Análisis ancho banda necesaria en relación a las horas de trabajo



Fuente: Elaboración Propia

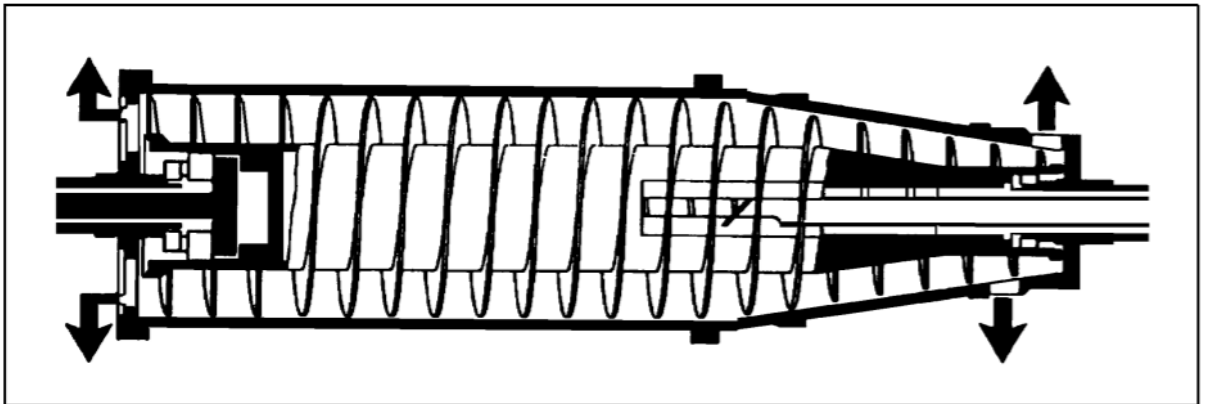
Otra variable importante que es necesario considerar corresponde a las horas de trabajo de las maquinarias, como se estableció anteriormente, las horas de trabajo diario es de alrededor de 15 horas por día, por lo tanto, se realizó un análisis del comportamiento de la cantidad de metros

requeridas para el proceso de deshidratado en función del aumento en la cantidad de horas de trabajo al día. En la Ilustración 10 se puede apreciar que si al aumentar la cantidad de horas de trabajo diario a 23 horas por día, no sería necesario adquirir nuevos equipos para el deshidratado de los lodos. Sin embargo, no existiría la posibilidad de aumentar las horas de trabajo, ya que los lodos no están autorizados a pasar un tiempo mayor al que se demoran los camiones en ser cargados, y la empresa que en donde se realiza la disposición final de los lodos no trabaja las 24 horas de día.

4.7.2. Decantador centrífugo o decanter

En el decantador centrífugo el lodo se alimenta a una cuba giratoria a caudal constante y se separa en una torta densa que contiene sólidos y un líquido diluido que recibe el nombre de concentrado. La torta de lodos contiene una humedad comprendida entre el 70 y 80 %.

Ilustración 11: Esquema decantador centrífugo



Fuente: (Laval, 2007)

En la Ilustración 11 se puede apreciar un esquema del funcionamiento del decantador centrífugo, en donde los lodos entran en el decantador por la intercepción de la parte cónica y cilíndrica del rotor, a través de un tubo de alimentación situado en el centro del eje hueco. Después de salir por este tubo, los lodos se distribuyen en el líquido que gira alrededor del motor y se van acelerando de a poco hasta conseguir la velocidad de rotación máxima. La fuerza de la centrifuga hace que los sólidos en suspensión se depositen en la parte inferior de rotor. El tornillo transportador va transportando esos sólidos continuamente hasta la parte cónica del rotor. La separación de los tiene lugar a todo lo largo de la parte cilíndrica del rotor y el líquido

clarificado sale por la parte extrema de mayor diámetro por desbordamiento a través de salidas ajustables en diámetro. La capacidad que posee el decanter es de alrededor de 600kg/h mientras que la capacidad de carga de los filtros de banda corresponde a 300kg/h aproximadamente. Esto significa que el trabajo que está realizando actualmente en la planta en el proceso de deshidratado puede ser reemplazado por solo un equipo de decantación centrifuga.

4.7.3. Selección metodología deshidratado

Para la selección de la metodología de selección de la tecnología es necesario analizar un análisis de los criterios específicos a considerar, posteriormente se realiza una matriz de priorización para determinar para definir el porcentaje de importancia de cada criterio. Finalmente, se realiza una matriz de ponderación que define la mejor alternativa.

Los criterios que se consideraron para la selección de la metodología son los siguientes:

- **Costo inversión:** corresponde al costo que se incurre en la instalación de la tecnología, en este caso está relacionado con el costo de la obra civil necesaria para la instalación del estanque.
- **Costo operacional:** costo necesario para mantener en funcionamiento el proceso. Está relacionado con el costo energético que poseen los equipos dentro de cada metodología, además de los costos asociados a la utilización de polímeros para el correcto funcionamiento.
- **Personal especializado:** corresponde a la necesidad de contar un trabajador con conocimiento especializados en esta metodología.
- **Vida útil:** corresponde al tiempo en que el equipo funcionara de forma normal.
- **Capacidad:** Corresponde a la cantidad de lodo que la maquina es capaz de deshidratar, por lo general este valor se mide en kg/h.

Cada uno de estos criterios tiene un porcentaje asignado determinado a través de una matriz de priorización.

La matriz de multicriterio se realiza bajo escala de nota de 0 a 5 La Tabla 17 muestra el significado de cada uno de los puntos.

Dada la información de diseño que se encuentra en la Tabla 23, además de consulta realizadas con expertos, se calcula la matriz de ponderación para la mejor alternativa.

En la Tabla 24 se puede apreciar que la alternativa a seleccionar corresponde a nuevo decantador centrifugo, esto se debe principalmente a la gran capacidad de poseer el decanter de deshidratar lodos. Además, dado el diseño de filtros de banda para los caudales proyectados de establecer que las necesidades el costo de inversión para estas maquinarias aumenta ya que se deben considerar 2 nuevas máquinas, ya que con una no bastaría para realizar un buen deshidratado de los lodos.

Tabla 24: Matriz selección tecnología desarenado

ITEM	Criterios	Porcentaje (%)	Filtro bandas	Decanter
A	Costo de inversión	25	2	3
B	Costo operacional	20	4	2
C	Capacidad	35	2	4
D	Personal especializado	5	4	2
E	Vida útil	15	5	4
		Total	2,95	3,25

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 5: EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

En el presente capítulo se desarrolla una evaluación económica del proyecto, asociada a los costos en los que incurrirá la empresa en su proyecto de ampliación considerando diferentes supuestos.

5. Evaluación económica del proyecto

La evaluación económica de un proyecto nos permite analizar la conveniencia de la implementación de un proyecto basándose en diferentes indicadores financieros. Para el caso específico de la planta de tratamiento se realizará una evaluación económica comparando el Valor Actual de Costos (VAC) de tres alternativas diferentes. Dado que en el proyecto de ampliación los beneficios son difíciles de valorar debido a que no existe un ingreso en sí producto de aumentar la capacidad de la planta para así cumplir con lo que está regularizado por ley. Es importante destacar que la evaluación económica se realizara en un periodo de 10 años, periodo en el cual termina la concesionaria de la empresa con el estado.

5.1. Alternativas

Para el desarrollo de la evaluación económica se consideraron 3 escenarios distintos que se presentan a continuación:

- **Alternativa 1:** compra del total de los equipos para realizar la ampliación de la planta.
- **Alternativa 2:** se establece que producto de como está funcionando la planta, existe dos procesos que requieren más urgencia de inversión, estos corresponden a el proceso de sedimentación y desinfección. Es por eso que en este escenario se establece la inversión inmediata para corregir estos procesos y posteriormente incorporar los equipos que faltan a la ampliación de la planta.
- **Alternativa 3:** Producto de que actualmente la Superintendencia de Servicio Sanitario está a puerta de establecer la obligación en la estabilización de los lodos para así ser destinados a aplicaciones benéficas de suelo, se establece como tercer escenario destinar los recursos a fortalecer la línea de lodos de la empresa. Cabe destacar que la empresa no realizar estabilización de lodos, por lo que será necesario incurrir en la incorporación de una unidad de espesamiento de lodos previo a al proceso de digestión. Esto se realizará mediante la incorporación de dos espesadores centrífugos adicionales al anteriormente señalado. Posteriormente la empresa realizara la compra de la maquinaria necesaria para abastecer por completo las necesidades de la planta.

5.2. Evaluación económica

En esta sección se desarrollará y analizará la evaluación económica de los escenarios descritos anteriormente. Para cada alternativa se identificaron aquellos recursos utilizados para materializar, operar y mantener el sistema de tratamiento.

5.2.1. Costos inversión

Para llevar a cabo el proyecto y correcto funcionamiento de la planta es necesario invertir principalmente en maquinarias y en la construcción de infraestructura. En la Tabla 25 se pueden apreciar los costos de inversión en relación con las maquinarias y equipos principales

Tabla 25: Costo inversión equipos principales

Maquinaria o equipos	Costo
Equipos principales	
dosificador cloro	\$ 25.186.000
Bombas agua a cloración	\$ 13.672.400
bomba de lodos espesados	\$ 14.224.080
Decanter	\$ 79.733.242
Bomba agua a espesador	\$ 12.928.800
Espesadores mecánicos	\$ 287.840.000

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla Tabla 26 se puede apreciar los costos de inversión en cañerías necesarias.

Tabla 26: Costos inversión piping

Piping	Costo
Línea bomba retornos	\$ 19.429.200
Línea clarificador	\$ 32.382.000
Línea RAS	\$ 45.334.800
Línea cámara de contacto	\$ 38.858.400
Línea bomba WAS	\$ 45.334.800

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la Tabla 27 se entregan los costos de inversión de obras civiles para en análisis de la alternativa.

Tabla 27: Costos inversión obras civiles

Obras civiles	Costo
Clarificador secundario	\$ 611.600.000
Cámara de contacto	\$ 251.860.000
Desarenador	\$ 71.960.000

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. Costos Operacionales

Existen tipos de costos en los cuales se deben incurrir los cuales son los costos fijos y los costos variables. La diferencia entre los costos fijo y los costos variables es que los costos fijos no varían en relación al aumento en la cantidad de agua que entra a la planta.

5.2.2.1. Costos fijos

Dentro de los costos fijos, como se mencionó anteriormente, se deben considerar todas aquellas que no representan variabilidad con respecto a los caudales de entrada de la planta. Entre estos costos se pueden mencionar los siguientes:

- **Personal:** corresponde a los costos que se incurren por remuneración efectuada a los trabajadores que forman parte de la planta, en este caso se estableció que, dado el aumento en la cantidad de equipos, se aumentara en 2 la cantidad de trabajadores de la planta. Considerando un sueldo mensual unitario de \$700.000 se obtiene una remuneración anual de \$16.800.000.
- **Energía (fijo):** costo solamente asociado a la iluminación del recinto, este costo considera iluminaria led, ampollitas normales y tubos floreciente para la iluminación de los equipos. El costo por energía es de \$120.120. En el Anexo 8 se entrega más información.

5.2.2.2. Costos Variables

Dentro de los costos variables se consideran aquellos de varias dependido de la cantidad de agua que esta entrado a la planta, en este caso, corresponde a los consumos necesarios para el

espesado en el proceso de deshidratación, como también el gas cloro necesario para realizar la desinfección del efluente de la planta. Para todas las alternativas a analizar se considerarán los costos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 28: Estimación costos variables unitarios

Ítem	valor	unidad
Gas cloro	560	\$/kg
Polímero	2647	-\$/kg

Fuente: Elaboración Propia

Es necesario considerar además que para el cálculo de los costos variables se utilizaron los caudales medio de los años proyectados por la empresa. En la Tabla 29 se pueden apreciar los costos variables asociados a la operación de la planta.

Tabla 29: Costos variables planta

Año	caudal medio (l/s)	polímero deshidratador	Cloro utilizado
1	894,6	\$42.089.114	\$ 110.653.107
2	895	\$42.107.934	\$ 110.702.583
3	895,2	\$42.117.343	\$ 110.727.321
4	895,5	\$42.131.458	\$ 110.764.428
5	895,7	\$42.140.867	\$ 110.789.166
6	895,9	\$42.150.277	\$ 110.813.904
7	896,1	\$ 42.159.686	\$ 110.838.642
8	896,3	\$42.169.096	\$ 110.863.380
9	896,5	\$42.178.506	\$ 110.888.118
10	896,7	\$42.187.915	\$ 110.912.856

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. Parámetros de evaluación

Como se mencionó anteriormente, el parámetro de evaluación de las alternativas corresponde al Valor Actual de Costos (VAC), ya que dada que la naturaleza de la ampliación, esta no va a generar aumento en los ingresos de la planta, ya que es un proyecto destinado a mejorar las conficiones de la planta.

Es necesario mencionar que la tasa de descuento que se utilizó corresponde a la tasa de descuento social (6%), dado que fue la sugerida por la literatura como también es la que es utilizada en la mayoría de las evaluaciones de la industria.

5.3. Evaluación de Proyectos.

En el siguiente apartado se detalla informaciones correspondientes los flujos realizados para la empresa.

Tabla 30: Resumen VAC distintas alternativas

Alternativa	VAC
1	\$2.485.592.602
2	\$2.282.798.851
3	\$2.047.015.816

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 30, dada las distintas alternativas la que presenta un menor Valor Actual de Costos corresponde a la alternativa N°3, esto se debe principalmente a que la inversión que se realiza en el año 0 es mucho menor en comparación con las realizadas en las otras alternativas. En el Anexo 9, Anexo 10 y Anexo 11 se encuentra mayor información en realización a los flujos para los calculo de los valores actuales netos.

CONCLUSIONES

En base al proyecto realizado es posible concluir que actualmente la planta se encuentra en una situación crítica producto del aumento que ha existido tanto en el caudal como en la carga orgánica afluente, la cual se acentúa debido a la alta variabilidad que posee el afluente durante el día. La planta actualmente se encuentra bordeando la máxima capacidad permisible, no sería de extrañar que en poco tiempo a la fecha se generen problemas relacionados al tratamiento biológico producto de alto grado de contaminación que posee la planta producto de la gran cantidad de arena que ha ingresado al sistema, además es posible determinar que al hablar de capacidad orgánica, la planta no estaría preparada para dar abasto a un período extendido de caudal horario máximo, ya que el área de los clarificadores no es la necesaria, esto quiere decir que en cualquier punto el manto de lodo de los clarificadores comenzará a desbordarse por sobre los clarificadores, provocando que el afluente de la planta presente una mayor cantidad de sólidos suspendidos totales a los que se encuentra actualmente regularizados.

Sin embargo, es posible destacar que si bien es posible evidenciar los problemas que posee la planta, está lograda mantener una eficiencia en lo que se refiere a la remoción de DBO de un 96% por lo que no es menor destacar la gran labor ejercida por los operarios y supervisores que han sabido manejar de buena manera todos los aspectos de la planta.

De los resultados obtenidos en la evaluación económica es posible destacar la importancia que va a presentar de ahora en adelante el tratamiento de los lodos, esto se debe a que una de las principales unidades de costo dentro de la empresa corresponde a los gastos realizados por la disposición final de lodos en mono rellenos, es por eso que es necesario destacar la urgencia que posee invertir tiempo y dinero en alcanzar un buen grado de estabilización de los lodos, ya sea para aplicación benéfica y así completar el ciclo del agua. Esto se traduce en una disminución de los costos de transporte como de disposición, además se encuentra dentro de los proyectos de la empresa el proceso de tarifar el tratamiento de los lodos, lo que es de gran importancia, ya que, de esta manera, se traslada parte de los costos hacia los clientes.

Finalmente, se puede concluir que se ha cumplido con los objetivos del proyecto, ya que la finalidad de esta fue realizar un diagnóstico de la situación actual y proyectada con el objetivo

de encontrar aquellos procesos críticos que requieran inversión por parte de la empresa. Además, se ha logrado estimar el impacto económico en el que se puede incurrir para la realización de la ampliación.

BIBLIOGRAFÍA

AWWA, WEF & ALPHA, 1012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. vigésima segunda ed. Whashington, DC: American Public Health Association.

Laval, A., 2007. *http://infota.siss.cl.* [En línea] Available at: <http://infota.siss.cl/concesiones/empresas/ESVAL/01%20ESVAL/06%20Informaci%C3%B3n%20entregada%20por%20la%20empresa/Estudio%20Vida%20Utiles/Anexo%20A.2/Alfa%20Laval/Manual%20de%20Instalaci%C3%B3n%20General%20Decanter.pdf>

Metcalf and Eddy, I., 2003. *Wasterwater engineering: Treatment and Reuse..* Cuarta ed. New York: McgGraw-Hill, Inc..

Nuevosur, S., 2018. *ORGANIGRAMA ESSBIO - NUEVOSUR.* s.l.:s.n.

Peavy, H., Rowe, D. & and Tchobanoglous, G., 1985. *Enviromental Engineering.* New York: McGraw-Hill, Inc..

Ramalho, R., 1983. *Tratamiento de Aguas Residuales.* Segunda ed. New York: Editorial Reverté S.A.

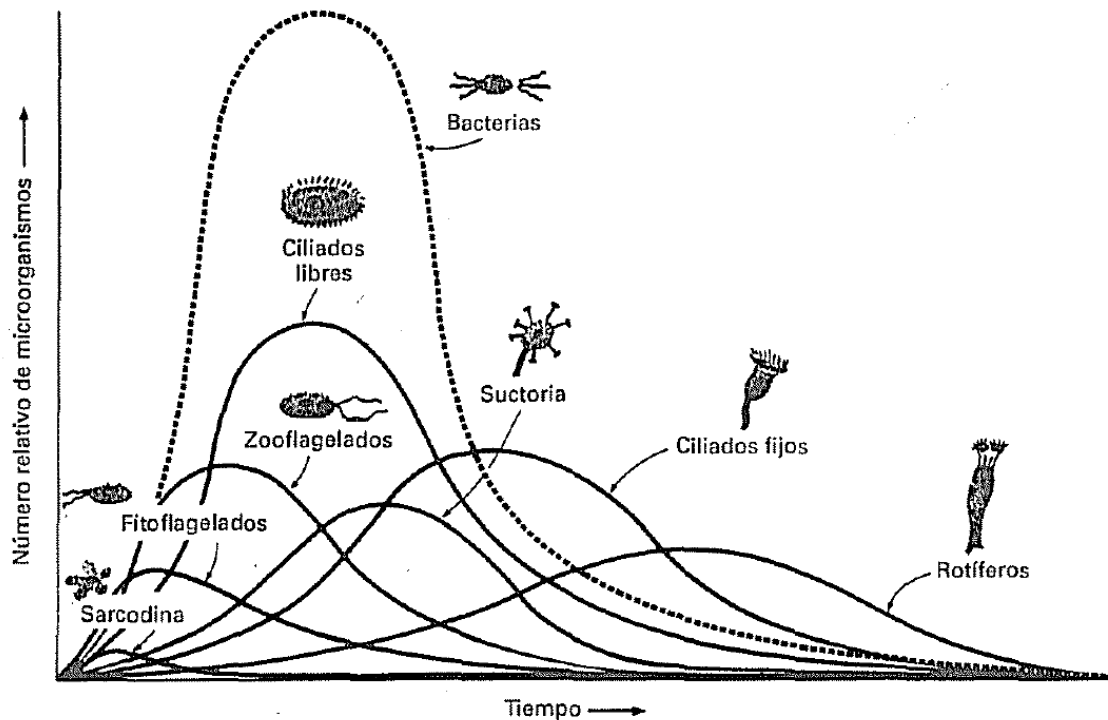
Riffat, R., 2013. *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering.* s.l.:IWA Publishing.

GLOSARIO

- **APR:** Agua Potable Rural.
- **DBO:** Demanda biológica de oxígeno.
- **DQO:** Demanda química de oxígeno.
- **SST:** Indica la cantidad de solidos presentes en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos.
- **SSV:** Solidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los sólidos suspendidos volátiles son incinerados, representa la parte orgánica de los sólidos suspendidos totales.
- **SSLM:** Concentración de SST presente en el licor de mezcla que se encuentra en los reactores biológicos o estanque de aireación.
- **SSVLM:** Concentración de SSV presente en el licor de mezcla que se encuentra en los reactores biológicos o estanque de aireación.
- **Sustrato:** corresponde a la materia de la cual se alimentan los microorganismos.
- **RILES:** Residuos industriales líquidos.
- **Biofilm:** Colonia estructurada de células bacterianas incrustadas en una matriz polimétrica fabricada por ellas mismas y adheridas entre ellas.
- **Afluente:** Caudal de entrada a la planta
- **Efluente:** Caudal de salida de la planta.
- **PTAS:** Planta tratamiento aguas servidas.

ANEXOS

Anexo 1: Curva crecimiento bacterias aguas servidas



Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003) (Laval, 2007)

Anexo 2: Calculo diseño tratamiento biológico año 2018

Como se mencionó anteriormente, para realizar el diagnóstico del tratamiento biológico es necesario considerar el funcionamiento de los estanques de aireación como también los estanques de aireación ya que están directamente relacionados. Los principales supuesto que son necesario considerar para los cálculos correspondientes. En primer lugar, es necesario asumir que los sólidos suspendidos volátiles en el afluente son despreciables; las aguas servidas contienen los nutrientes, nitrógeno y fosforo adecuando para el correcto desarrollo biológico de los organismos y finalmente, que la temperatura de los reactores o aireadores es de 20°C.

En primer lugar, se realiza el cálculo de la eficiencia del proceso.

Ecuación 4: Calculo eficiencia tratamiento biológico año 2018

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- S_0 : DBO afluente ($\frac{mg}{l}$)
- S : DBO efluente ($\frac{mg}{l}$)
- E : Eficiencia tratamiento biológico (%)

Luego en la Ecuación 5 se observa que la eficiencia de la planta durante el año 2018 fue de un 96%, esta eficiencia se mide a través de la remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).

Ecuación 5: eficiencia tratamiento biológico año 2018

$$E = \frac{231,7 \frac{mg}{L} - 9,24 \frac{mg}{L}}{231,7 \frac{mg}{L}} \times 100 = 96\%$$

Fuente: Elaboración Propia

Luego se procede a calcular el volumen necesario en los reactores o estanques de aireación.

Ecuación 6: Calculo volumen necesario de los estanques de aireación

$$V_r = \frac{\theta_c Q Y (s_0 - s)}{X (1 + k_d \theta_c)}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- V_r : Volumen necesario reactores (m^3)
- Q : Caudal efluente planta ($\frac{m^3}{s}$)
- S_0 : DBO afluente ($\frac{mg}{L}$)

- S: DBO efluente ($\frac{mg}{L}$)
- Y: Rendimiento ($\frac{m_g SSV}{m_g DBO_5}$)
- X: concentración de solidos suspendidos volátiles en el reactor SSVLM ($\frac{mg}{L}$)
- K_d : Tasa de decaimiento (d^{-1})
- θ_c : Tiempo retención de solidos SRT (d)

Es necesario considerar que el rendimiento (Y) corresponde a la tasa de producción de biomasa generada por unidad de sustrato o DBO utilizado y toma el valor de $0,6 \left(\frac{m_g SSV}{m_g DBO_5} \right)$ a $20^\circ C$, la tasa de crecimiento corresponde a la velocidad o tiempo que demora en la reducción de población de coliformes fecales, este valor para las condiciones definidas toma el valor de $0,06 (d^{-1})$. Además, se define un tiempo de retención de solidos SRT de 10 días. Cabe destacar que los diseños se realizan considerando un día completo a caudal horario máximo.

Ecuación 7: Cálculo volumen estanques aireación 2018

$$V_r = \frac{10 d * 94608 \frac{m^3}{d} * 0,6 \frac{m_g SSV}{m_g DBO_5} * \left(231,7 \frac{mg}{L} - 9,24 \frac{mg}{L} \right)}{2783 \frac{mg}{L} (1 + 0,06 d^{-1} * 10d)} = 28.364 m^3$$

Fuente: Elaboración Propia

Ahora precedemos a calcular el tiempo de retención de solidos considerando el volumen actualmente instalado para verificar que cumpla con los requerimientos del sistema.

Ecuación 8: Calculo SRT situación actual

$$\theta_c = \frac{v_r X}{Q'_w X_r}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- θ_c : Tiempo retención de solidos SRT (d)

- v_r : Volumen necesario reactores(m^3)
- X: concentración de solidos suspendidos volátiles en el reactor SSVLM($\frac{mg}{L}$)
- Q'_w : Caudal lodo purgado tratamiento biológico($\frac{m^3}{d}$)
- X_r : Concentración de solidos suspendidos volátiles en lodo reciclado($\frac{mg}{L}$)

A continuación, se calcular el tiempo de retención de solidos de la planta al año 2018.

Ecuación 9:SRT situación actual

$$\theta_c = \frac{26.250m^3 * 2783 \frac{mg}{L}}{1475 \frac{m^3}{d} * 5536 \frac{mg}{L}} = 10,18d \approx 10d$$

Fuente: Elaboración Propia

Luego, se procede a calcular el tiempo de retención hidráulico del tratamiento biológico actual para posteriormente calcular la relación F/M.

Ecuación 10:Calculo tiempo retención hidráulica

$$\theta = \frac{v_r}{Q}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- Q: Caudal efluente planta($\frac{m^3}{s}$)
- θ : Tiempo retención hidráulico HRT(*horas*)
- v_r : Volumen actual de reactores(m^3)

Como resultado se obtiene que el tiempo de retención hidráulico para de los reactores actualmente corresponde a 6,66 horas.

Ecuación 11: Tiempo retención hidráulica caudal 2018

$$\theta = \frac{26.250m^3}{3.942 \frac{m^3}{h}} = 6,66 \text{ horas}$$

Fuente: Elaboración Propia

Luego del cálculo de tiempo de residencia hidráulico, se procede a calcular la razón F/M utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 12: Calculo relación F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(S_0 - S)}{VX}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- $\frac{F}{M}$: Relación comida a microorganismos $\frac{mg \text{ BOD}}{mg \text{ SSV} * d}$
- Q : Caudal efluente planta $\left(\frac{m^3}{d}\right)$
- S_0 : DBO afluente $\left(\frac{mg}{L}\right)$
- S : DBO efluente $\left(\frac{mg}{L}\right)$
- X : concentración de solidos suspendidos volátiles en el reactor SSVLM $\left(\frac{mg}{L}\right)$

En la Ecuación 13 se puede apreciar que la relación actual F/M en los reactores corresponde a $2,66 \frac{mg \text{ BOD}}{mg \text{ SSV} * d}$.

Ecuación 13: relación F/M año 2018

$$\frac{F}{M} = \frac{94.608 \frac{m^3}{d} * \left(231,7 \frac{mg}{L} - 9,24 \frac{mg}{L}\right)}{26.250m^3 * 2783 \frac{mg}{L}} = 0,266 \left(\frac{1}{d}\right)$$

Fuente: Elaboración Propia

Posterior al diseño de los estanques de aireación se procede con el diseño de los sedimentadores secundarios.

En primer paso a realizar es el cálculo del porcentaje de recirculación que debe tener el sistema para mantener una concentración constante de sólidos suspendidos totales en el licor de mezcla.

Ecuación 14: Calculo tasa de recirculación lodos

$$\alpha = \frac{SSLM}{X_u - SSLM}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- $SSLM$: Concentración sólidos suspendidos totales en licor de mezcla ($\frac{mg}{L}$)
- X_u : Concentración sólidos suspendidos volátiles en lodo purgado ($\frac{mg}{L}$)

En la Ecuación 15 se muestra la tasa de recirculación que deberá tener el sistema.

Ecuación 15: Tasa recirculación tratamiento biológico 2018

$$\alpha = \frac{3682 \frac{mg}{L}}{(7342 - 3682) \frac{mg}{L}} = 1,006 \approx 100\% \text{ recirculación}$$

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, para el cálculo del área necesaria para el proceso de sedimentación se utiliza el análisis de flujo de sólidos el cual nos entrega un estimado de la cantidad de lodo que se puede sedimentar por metro cuadrado de área en los sedimentadores por hora, dada la concentración de sólidos suspendidos totales en la línea de reciclaje, el cual por literatura se estima en $5,8 \frac{kg}{m^2h}$.

En la Ecuación 16 se encuentra la fórmula para el cálculo del valor de flujo de sólidos limitantes.

Ecuación 16: Calculo área necesaria de sedimentación

$$A_c = \frac{(1 + \alpha)(Q)(X)}{SF_a}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- SF_a : Flujo de solidos limitantes ($\frac{kg}{m^2 h}$)
- A_c : Área necesaria para sedimentación (m^2)
- Q : Caudal efluente planta ($\frac{L}{h}$)
- $SSLM$: Concentración solidos suspendidos totales en licor de mezcla reactores ($\frac{kg}{L}$)

En la Ecuación 17 se encuentra el área necesaria para sedimentar la cantidad de solidos generados por la planta de tratamiento en una hora.

- **Ecuación 17: Área necesaria de sedimentación caudal 2018**

$$A_c = \frac{(1 + 1,006) \left(3.942.000 \frac{L}{h}\right) \left(0,003682 \frac{kg}{L}\right)}{5,8 \frac{kg}{m^2 h}} = 5019,996 m^2 \approx 5020 m^2$$

Fuente: Elaboración Propia

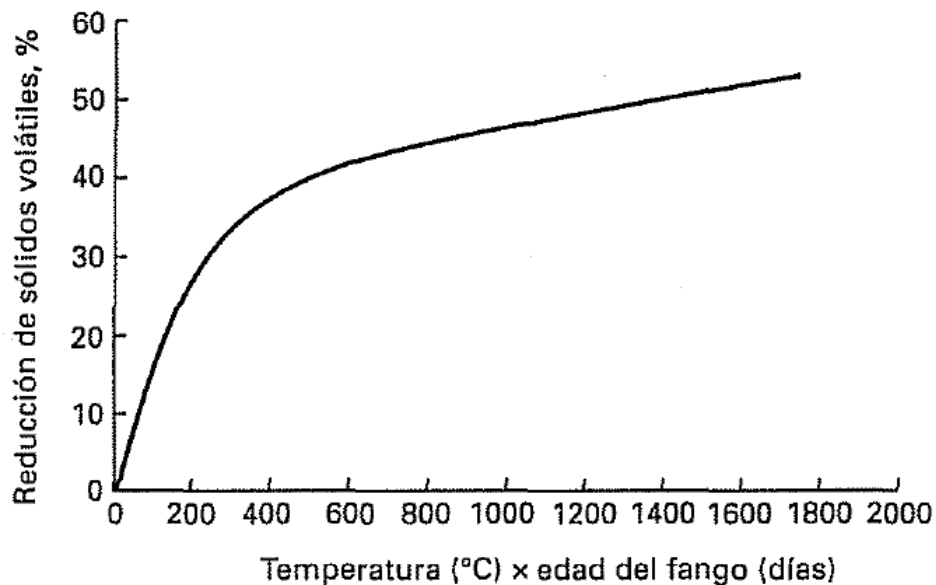
Como se puede apreciar, dado que el área de sedimentación de la planta corresponde a 4536m², no se cuenta con el área suficiente para realizar una buena sedimentación de los sólidos.

Anexo 3: Cálculos diseño digestores año 2018

Para realizar un buen diseño de digestores aeróbicos, un de las variables más importantes corresponde a la temperatura a la cual van a reaccionar los organismos. A medida que la temperatura disminuye, la velocidad de reacción de las bacterias disminuye y por lo tanto se requerirán de mayor tiempo de retención de lodos dentro de los digestores. Sin embargo, para el proceso de diseño se utiliza la temperatura promedio de 20°C.

Para realizar el cálculo del volumen de un digestor, en primera instancia es necesario determinar la edad que debe poseer el lodo para asegurar un 40% de reducción de sólidos suspendidos volátiles, según lo estipula el decreto supremo N°4, el cual regula la estabilización de los lodos. Para la estimación del tiempo de retención del lodo se utiliza la Ilustración 12, la cual entrega la reducción de sólidos suspendidos volátiles como función de la temperatura del líquido en los digestores y la edad del lodo.

Ilustración 12: Curva reducción de SSV



Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

De lo anterior se obtiene que para asegurar un 40% de reducción de sólidos suspendidos volátiles, la multiplicación entre la temperatura y la edad de lodos debe ser igual a 475°C*días. Dado que la temperatura del líquido se definió anteriormente en 20°C, la edad del lodo necesaria corresponde a 23,75 días.

A continuación,

Ecuación 18: Cálculo volumen digestor

$$V_d = \frac{Q_i X_i}{X \left(K_d P_v + \frac{1}{\theta_c} \right)}$$

Fuente: (Metcalf and Eddy, 2003)

Donde:

- V_d : Volumen digestor (m^3)
- Q_i : Flujo afluente al digestor ($\frac{m^3}{d}$)
- X_i : Concentración sólidos suspendidos desde clarificador ($\frac{mg}{L}$)
- X : Concentración sólidos suspendidos en digestor ($\frac{mg}{L}$)
- K_d : Tasa de decaimiento (d^{-1})
- θ_C : Tiempo retención de sólidos SRT (d)
- P_v : Fracción volátil de los sólidos suspendidos en digestor ($\frac{mg}{L}$)

Para el cálculo del volumen del digestor se utilizaron el mismo valor para la tasa de decaimiento que en el Anexo 2 Además, se utilizaron de las concentraciones de sólidos tanto a la entrada como dentro de los digestores según lo informado por la empresa. En la Tabla 31 se encuentra un resumen de los parámetros de diseño utilizados.

Tabla 31: Parámetros de diseño Digestores diagnostico

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen de lodos afluente	1122,9	m3/d
T° mínima	20	°C
Concentración SST desde clarificador	8000	mg/L
Concentración SST digestor	10713	mg/L
Concentración SSV digestor	7894	mg/L
Fracción volátil de sólidos suspendidos en el digestor	0,7368	

Fuente: Elaboración Propia

El resultado del volumen necesario para el proceso de digestión se observa en la

Ecuación 19: Volumen requerido digestión 2018

$$V_d = \frac{1122,9 \frac{m^3}{d} * 8000 \frac{mg}{L}}{10713 \frac{mg}{L} \left(0,06 \frac{1}{d} * 0,7368 + \frac{1}{23,75d} \right)} \approx 9715 m^3$$

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4: Cálculos diagnóstico desbaste

Para realizar el cálculo de la velocidad de paso y acercamiento es necesario considerar las características establecidas en la Tabla 2. Primero es necesario realizar el cálculo de las velocidades de aproximación y paso del agua utilizando el caudal del año de diseño y posterior el caudal del año 2018 tanto para el caudal repartido en los dos canales como para uno solo.

Ecuación 20: Caudal diseño paso por reja

$$Q_{d_2} = \frac{Q_d}{2} = \frac{0,902 \frac{m^3}{s}}{2} = 0,451 \frac{m^3}{s}$$

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- Q_{d_2} : Caudal agua una reja ($\frac{m^3}{s}$).
- Q_d : Caudal agua ($\frac{m^3}{s}$)

De la Ecuación 20 se obtiene que el caudal de agua que pasa por cada reja mecánica corresponde a $0,451 \frac{m^3}{s}$. A continuación, se realiza el cálculo de la velocidad de paso de cada reja.

Ecuación 21: Calculo paso agua entre rejillas

$$V_p = \frac{Q_d}{nb * eb * P}$$

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- Q_d : Caudal Agua ($\frac{m^3}{s}$)
- nb : Numero de espacios entre barras

- eb : Espacio entre barras (m)
- P : Profundidad canal (m)
- V_P : Velocidad de paso entre rejas ($\frac{m}{s}$)

En la Ecuación 22 entrega que la velocidad de paso del agua entre cada reja de la planta para el caudal de diseño de la planta corresponde a $0,75 \frac{m}{s}$.

Ecuación 22: Velocidad paso agua entre rejas caudal diseño

$$V_{Pd} = \frac{0,451 \frac{m^3}{s}}{57 * 0,006 m^2 * 0,7m} = 0,75 \frac{m}{s}$$

Fuente: Elaboración Propia

Luego se realiza el mismo calculo, pero considerando que el caudal completo de la planta pasa por solo una reja.

Ecuación 23: Calculo paso agua entre una reja caudal diseño

$$V_{Pd} = \frac{0,902 \frac{m^3}{s}}{57 * 0,006 m^2 * 0,7m} = 1,5 \frac{m}{s}$$

Fuente: Elaboración Propia

Luego utilizando la misma fórmula para los caudales para el año 2018, la velocidad de paso a través de cada reja se describe en la Ecuación 24.

Ecuación 24: Calculo paso agua entre rejas

$$V_{Pd} = \frac{0,5475 \frac{m^3}{s}}{57 * 0,006 m^2 * 0,7m} = 0,91 \frac{m}{s}$$

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente utilizamos la Ecuación 21 considerando que el total del caudal de entrada del año 2018 pasa por solo una reja.

Ecuación 25: Calculo paso agua entre rejas

$$V_{Pd} = \frac{1,095 \frac{m^3}{s}}{57 * 0,006 m^2 * 0,7m} = 1,82 \frac{m}{s}$$

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5: Cálculos diagnostico desarenado

Primero se procede a realizar el cálculo de área necesario para la sedimentación considerando el caudal de diseño de la planta, para esto se utiliza la información de la Tabla 5 como también la Ecuación 3.

Ecuación 26: Diseño Desarenadores caudal diseño

$$A_x = \frac{0,451 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0,002 \left(\frac{m}{s}\right)} = 22,55m^2$$

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, el área necesaria para sedimentar el efluente considerando el caudal horario máximo de la planta al año 2018.

Ecuación 27: Diseño Desarenadores caudal 2018

$$A_x = \frac{0,5475 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0,002 \left(\frac{m}{s}\right)} = 27,375m^2$$

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6: Matriz de priorización para determinación porcentual de factores para alternativa de tecnología de desarenado.

ITEM	Criterios	Costo de inversión	Costo operacional	Costo mantención	Personal especializado	Vida útil	Puntaje	Ponderación (%)
A	Costo de inversión	X	0,5	1	1	1	3,5	35
B	Costo operacional	0,5	X	1	1	0,5	3	30
C	Costo mantención	0	0	X	1	0,5	1,5	15
D	Personal especializado	0	0	0	X	0,5	0,5	5
E	Vida útil	0	0,5	0,5	0,5	X	1,5	15
						Total	10	100

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7:Matriz de priorización para determinación porcentual de factores para alternativa de tecnología de deshidratados

ITEM	Criterios	Costo de inversión	Costo operacional	Capacidad	Personal especializado	Vida útil	Puntaje	Ponderación (%)
A	Costo de inversión	X	0,5	0	1	1	2,5	25
B	Costo operacional	0,5	X	0	1	0,5	2	20
C	Capacidad	1	1	X	1	0,5	3,5	35
D	Personal especializado	0	0	0	X	0,5	0,5	5
E	Vida útil	0	0,5	0,5	0,5	X	1,5	15
						Total	10	100

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8:Costos fijo electricidad

Descripción	cantidad	potencia (W)	consumo mensual Ks-h/mes	Cargo por energía (\$/kwh)	Costo anual
luminaria led	4	80	115	\$53,474	\$ 73.794
ampolletas normales	4	75	72	\$53,474	\$ 46.202
tubos fluorescentes	5	35	43	\$53,474	\$ 27.593
				Costo total	\$ 147.588

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9: VAC alternativa N°1

Costo/Año	0	1	2	3	4	5
Costo Fijo	-	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588
Costo variable	-	\$ 152.742.221	\$ 152.810.517	\$ 152.844.664	\$ 152.895.886	\$ 152.930.033
Inversión	\$1.235.350.842	-	-	-	-	-
Costo total	\$1.235.350.842	\$ 169.689.810	\$ 169.758.105	\$ 169.792.252	\$ 169.843.474	\$ 169.877.621
Costo Actual	\$1.235.350.842	\$ 160.084.726	\$ 151.084.109	\$ 142.560.849	\$ 134.531.939	\$ 126.942.441
VAC	\$1.235.350.842	\$1.395.435.568	\$1.546.519.677	\$1.689.080.526	\$1.823.612.466	\$1.950.554.907
Costo/Año		6	7	8	9	10
Costo Fijo	-	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588
Costo variable	-	\$ 152.964.181	\$ 152.998.328	\$ 153.032.476	\$ 153.066.624	\$ 153.100.771
Inversión	-	-	-	-	-	-
Costo total	-	\$ 169.911.769	\$ 169.945.917	\$ 169.980.064	\$ 170.014.212	\$ 170.048.359
Costo Actual	-	\$ 119.781.093	\$ 113.023.741	\$ 106.647.595	\$ 100.631.151	\$ 94.954.116
VAC	-	\$2.070.335.999	\$2.183.359.740	\$2.290.007.335	\$2.390.638.486	\$2.485.592.602

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 10: VAC alternativa N°2

Costo/Año	0	1	2	3	4	5
Costo Fijo	-	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588
Costo variable		\$ 110.653.107	\$ 110.702.583	\$ 110.727.321	\$ 110.764.428	\$ 110.789.166
Inversión	\$1.096.610.400	-	-	-	-	\$ 151.693.242
Costo total	\$1.096.610.400	\$ 127.600.695	\$ 127.650.171	\$ 127.674.909	\$ 127.712.016	\$ 279.429.996
Costo Actual	\$1.096.610.400	\$ 120.378.014	\$ 113.608.198	\$ 107.198.316	\$ 101.159.879	\$ 208.806.348
VAC	\$1.096.610.400	\$1.216.988.414	\$1.330.596.612	\$1.437.794.928	\$1.538.954.807	\$1.747.761.155
Costo/Año		6	7	8	9	10
Costo Fijo	-	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588
Costo variable	-	\$ 152.964.181	\$ 152.998.328	\$ 153.032.476	\$ 153.066.624	\$ 153.100.771
Inversión	-	-	-	-	-	-
Costo total	-	\$ 169.911.769	\$ 169.945.917	\$ 169.980.064	\$ 170.014.212	\$ 170.048.359
Costo Actual	-	\$ 119.781.093	\$ 113.023.741	\$ 106.647.595	\$ 100.631.151	\$ 94.954.116
VAC	-	\$1.867.542.248	\$1.980.565.989	\$2.087.213.584	\$2.187.844.735	\$2.282.798.851

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11: VAC alternativa N°3

Costo/Año	0	1	2	3	4	5
Costo Fijo	-	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588
Costo variable	-	\$ 42.089.114	\$ 42.107.934	\$ 42.117.343	\$ 42.131.458	\$ 42.140.867
inversión	\$ 414.155.322	-	-	-	-	\$1.136.188.400
Costo total	\$ 414.155.322	\$ 59.036.703	\$ 59.055.522	\$ 59.064.931	\$ 59.079.046	\$1.195.276.855
Costo Actual	\$ 414.155.322	\$ 55.695.002	\$ 52.559.204	\$ 49.592.055	\$ 46.796.138	\$ 893.180.399
VAC	\$ 414.155.322	\$ 469.850.324	\$ 522.409.529	\$ 572.001.584	\$ 618.797.722	\$1.511.978.121
Costo/Año		6	7	8	9	10
Costo Fijo	-	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588	\$ 16.947.588
Costo variable	-	\$ 152.964.181	\$ 152.998.328	\$ 153.032.476	\$ 153.066.624	\$ 153.100.771
inversión	-	-	-	-	-	-
Costo total	-	\$ 169.911.769	\$ 169.945.917	\$ 169.980.064	\$ 170.014.212	\$ 170.048.359
Costo Actual	-	\$ 119.781.093	\$ 113.023.741	\$ 106.647.595	\$ 100.631.151	\$ 94.954.116
VAC	-	\$1.631.759.213	\$1.744.782.954	\$1.851.430.549	\$1.952.061.700	\$2.047.015.816

Fuente: Elaboración Propia