



Universidad Nacional  
de San Martín

*Proyecto Final Integrador*

**“Diseño de una Planta de Tratamiento de  
efluentes líquidos para una industria  
autopartista con proceso de galvanoplastía”**

por

Juan Manuel Gallardo

Ingeniería Ambiental

Tutor: Federico Bailat

Fecha: Noviembre 2021

## Agradecimientos

*A mi mamá, papá y hermana, mis pilares en todo esto. Lloré, reí, me enojé, y así todo, ellos siempre tirando para adelante. Estando ahí preguntándome cómo me iba en la facultad, llevándome a la facultad así no pasaba frío, prestándome el auto para que pueda ir a trabajar, cursar y entrenar. Aportando desde donde sea para que pueda hacer lo que yo quería y no me falte nada.*

*A mi novia Josefina, quien se tuvo que bancar el último y más complicado tramo del proyecto final, ayudándome como podía sin entender nada de plantas de tratamiento.*

*Los chicos del club, que siempre estuvieron para despejarme un poco de todo esto.*

*Mis amigos y amigas de la facultad, que pasamos por todo tipo de emociones*

*Al personal de la UNSAM, eternamente agradecido.*

*Último, pero no menos importante, para la abuela Dorita, que me encantaría tenerla conmigo y verle la cara cuando le diga que lo conseguí.*

# Índice

Resumen .....	5
Introducción.....	7
1. Introducción a la problemática ambiental de los efluentes cloacales e industriales.....	9
1.1 Introducción .....	9
1.2 Aguas residuales .....	12
1.3 Impactos ambientales del área de galvanoplastía .....	17
2. Introducción a la galvanoplastía.....	19
2.1 Etapas del proceso de galvanoplastía.....	20
2.2 Concepto de arrastre .....	23
3. Introducción a la empresa.....	24
3.1 Introducción .....	24
3.2 Abastecimiento de agua y efluentes generados .....	25
3.3 Información del proceso productivo de la fábrica .....	26
3.4 Diagrama del proceso de Galvanoplastía en la fábrica .....	31
4. Caracterización del efluente líquido y objetivos de tratamiento .....	33
4.1 Caracterización de las bateas de galvanoplastía .....	33
4.2 Pretratamientos químicos.....	35
4.3 Niveles actuales de consumos y emisiones.....	38
5. Análisis, comparación de las alternativas y elección final .....	53
5.1 Introducción .....	53
5.2 Optimización en el consumo de agua .....	57
5.3 Tratamiento de los efluentes líquidos .....	65
6. Memoria de cálculo y desarrollo de propuesta.....	84
6.1 Efluentes cloacales.....	84
6.2 Efluentes industriales .....	93
6.3 Efluentes industriales y cloacales .....	118
6.8 Conclusiones .....	154
7. Evaluación económica.....	155
7.1 Inversión inicial .....	155
7.2 Costos de operación y mantenimiento .....	159
7.3 Viabilidad y financiamiento.....	167

7.4 Conclusiones .....	169
8. Selección del tren de tratamiento definitivo .....	170
8.1 Criterios de comparación para el tren de tratamiento .....	170
8.2 Ponderación de los criterios .....	175
8.3 Conclusión .....	176
9. Planos.....	177
10. Evaluación de Impacto Ambiental .....	184
10.1 Introducción .....	184
10.2 Metodología .....	185
10.3 Marco Legal .....	186
10.4 Descripción general del proyecto.....	190
10.5 Línea de Base Socio Ambiental.....	192
10.6 Valoración de impactos ambientales .....	211
10.7 Análisis de riesgos .....	235
10.8 Plan de Gestión Ambiental .....	238
10.9 Conclusión .....	249
11. Conclusión final.....	250
11.1 Conclusiones del proyecto .....	250
11.2 Conclusiones personales .....	251
12. Bibliografía.....	252

# Resumen

Este Proyecto Final Integrador para la carrera de grado de Ingeniería Ambiental trata sobre el diseño de una planta de tratamientos de efluentes líquidos para una empresa industrial. El mayor atractivo y desafío que tiene esta fábrica, es que posee un proceso de galvanoplastia, generando un efluente con un gran contenido de metales pesados.

La fábrica comenzó sus actividades a mediados de la década del 90, y desde ese entonces, no tuvo grandes modificaciones. Debido al avance de la tecnología y a la mayor exigencia de los requisitos legales ambientales, es necesario mejorar el sistema actual de la planta de tratamientos de efluentes líquidos.

El proyecto presenta el análisis de dos alternativas y finalmente la selección del tratamiento final. Se evaluarán dos tratamientos distintos para los efluentes industriales, siendo el primero con un equipo de osmosis inversa, mientras que para el otro se tratará en serie con coagulación, floculación y sedimentación primaria. Con respecto a los efluentes cloacales, para la propuesta con el equipo de osmosis inversa, éstos se tratarán por separado en un tanque SBR., Para la otra alternativa, los cloacales se unirán junto a los industriales e ingresarán en un tanque SBR a la salida del tratamiento primario. Se optó por el sistema de tratamiento primario, ya que la eficiencia de remoción de metales pesados es muy similar en ambas alternativas y ambas cumplen con normativa, pero la principal diferencia radica en el aspecto económico. Además, se plantea un nuevo diseño para el equipo de galvanoplastia con el fin de optimizar el consumo de agua.

En este trabajo se encuentra una breve descripción de la fábrica y su proceso productivo, cómo es que funciona actualmente la planta de tratamientos, la caracterización

del efluente, y el marco normativo que le corresponde. Luego, se presentan las dos alternativas y la memoria de cálculo de las unidades. Presentadas las dos alternativas, se selecciona la más adecuada en función a los aspectos técnicos, ambientales y económicos. Seguido a la elección del tratamiento indicado, se elaboran los planos y el Estudio de Impacto Ambiental.

Mediante la ejecución del proyecto aquí propuesto se podrá, no sólo minimizar los impactos negativos que conlleva la generación de efluentes contaminados, sino también generar una concientización sobre el cuidado del medio ambiente.

# Introducción

## **Formulación a la problemática ambiental del proyecto y alternativas propuestas.**

Muchas fábricas industriales utilizan agua en sus procesos productivos, donde esta puede formar parte del producto final o ser desechada como efluente. Este efluente final suele poseer residuos del proceso mismo, y puede contener metales, carga orgánica, y demás productos contaminantes que deben ser tratados.

Uno de los procesos productivos dentro de la fábrica es el de galvanoplastia, que consiste en el recubrimiento electrolítico de la pieza con metales pesados. Lo que se busca con este proceso es evitar la corrosión del producto final. Dentro del proceso de galvanoplastia, se utilizan varias bateas con agua que hacen de enjuague de las piezas, dando lugar a un gran consumo de agua. Como resultado final, esta agua se encuentra contaminada con una gran carga de metales pesados, como ser Níquel, Plomo, Estaño y un pH muy ácido, ya que uno de los baños es con Ácido Clorhídrico. Es el único lugar de la fábrica donde se generan efluentes líquidos, ya que los demás procesos no utilizan agua, y consisten en el mecanizado de las piezas.

Actualmente, el agua que se vuelca al cuerpo receptor cumple con los parámetros establecidos en la normativa vigente aplicable, sin embargo, se busca incorporar un tratamiento más efectivo y moderno. Además, el consumo de agua es muy alto, ya que se está extrayendo agua constantemente para las bateas de enjuague, sin posibilidad de que el agua sea reutilizada.

El volumen de efluente generado es variable, ya que está en función de la planificación y la producción de la fábrica misma. No todas las piezas requieren pasar por el

tratamiento galvanoplástico, además de que se acumula cierta cantidad de piezas para luego ser enviadas todas juntas al equipo de galvanoplastia.

También, la planta de tratamientos de efluentes recibe los desechos de sanitarios, duchas y cocina generados por todos los empleados de la fábrica. Por lo tanto, esto implica un doble desafío a la hora del tratamiento de los efluentes. Actualmente, en la empresa trabajan aproximadamente unas 110 personas.

En el presente proyecto se plantean dos alternativas que buscan mejorar la remoción de contaminantes de los efluentes generados, además de reducir drásticamente el consumo de agua para galvanoplastia. Las técnicas sugeridas para la remoción de metales pesados en este proyecto son la ósmosis inversa y un sistema de tratamiento primario en serie, que posee coagulación, floculación y sedimentación primaria.

### **Objetivo y alcance del proyecto**

El objetivo del proyecto es diseñar una nueva planta de tratamiento, base cero, para poder actualizar y mejorar el tratamiento actual. Además, se buscará realizar una optimización en el consumo de agua de producción, y para así disminuir significativamente el consumo de la misma.



# **1. Introducción a la problemática ambiental de los efluentes cloacales e industriales**

## **1.1 Introducción**

El agua es considerada como contaminada cuando sus características naturales están alteradas de tal modo que la hace total o parcialmente inadecuada para el uso al que es destinada. (Persino)

La contaminación del agua consiste en la incorporación al agua de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. (Persino)

El crecimiento demográfico, la industrialización y la concentración urbana, contribuyen a lo que es una amenaza para el hombre contemporáneo, el deterioro de su medio ambiente. Desde su origen, los grupos humanos se establecieron en las cercanías de los ríos, lagos o áreas costeras, por su dependencia vital del medio acuático, provocando así los primeros indicios del deterioro de la calidad del agua y evidenciando la contaminación. La tasa de contaminación del agua puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios. (Persino)

Unos de los componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrogeológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico o geoquímico a partir de los minerales que, por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastradas

al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico o debida a la actividad humana. La minería, los procesos industriales, los residuos domésticos son fuente importante de contaminación que aportan metales al aire, al agua y al suelo especialmente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y algunas autoridades ambientales, han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos. Los mapas realizados en algunas regiones del mundo muestran un importante incremento en la concentración por encima de los límites establecidos, que las clasifica como de alto riesgo. En la actualidad se acepta de forma generalizada que la distribución, movilidad, disponibilidad biológica y toxicidad de los elementos químicos no es función de la concentración total de los mismos, sino que dependen de la forma química en la que se encuentren. Es necesario conocer las especies químicas de los elementos para comprender las reacciones químicas y bioquímicas en las que intervienen y, por tanto, obtener información relativa al carácter esencial y tóxico de los elementos químicos. (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)

La más importante que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Sus efectos tóxicos de los metales pesados no detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental y si ésta

se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos.

Como ya fue anotado, la presencia de metales en el ambiente se da por vía natural y antropogénica. Se movilizan en matrices de agua, suelo y aire. Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicamente. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico-químicas, por ejemplo, material particulado ( $>0,45 \mu\text{m}$ ), coloidal ( $1 \text{ nm}-0,45 \mu\text{m}$ ) y especies disueltas ( $=1 \text{ nm}$ ). La materia particulada y coloidal, tanto orgánica como inorgánica, desempeña un papel clave en la coagulación, la sedimentación y en los procesos de adsorción, los cuales influyen en los tiempos de residencia y transporte de los metales trazas desde la columna de agua a los sedimentos y a otras matrices. (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)

La fuente de contaminación y su incorporación en la cadena alimenticia se ilustra en la gráfica de la figura 1.



Figura 1: Fuentes de contaminación por metales pesados en aire, suelo, agua y planta. Fuente (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016)

## 1.2 Aguas residuales

El agua potable no es químicamente pura, ya que contiene sustancias originadas en sus características iniciales, o añadidas durante o después de su tratamiento. La calidad de las aguas potabilizadas se altera después de su uso con propósitos domésticos, comerciales, públicos e industriales. Hablamos, entonces, de aguas residuales (Schiappacasse, 2006).

### 1.2.1 Materia prima a tratar

El líquido es, en sí mismo, nada más que un medio de transporte de las innumerables sustancias orgánicas, inorgánicas y microorganismos eliminados por el hombre diariamente. Los sólidos son los responsables del deterioro de la calidad del cuerpo del agua que reciben los desagües: por esto es muy importante su conocimiento, ya que permite prever un sistema de tratamiento de desagües (Schiappacasse, 2006).

Para la caracterización de los desagües cloacales e industriales se utilizan determinaciones físicas, químicas y biológicas, cuyos valores permiten conocer su grado de contaminación y, consecuentemente, dimensionar y medir la eficiencia de las plantas de tratamiento (Schiappacasse, 2006).

### 1.2.1.1 Caracterización mínima de las aguas residuales

Una caracterización de aguas residuales, sean domésticas, urbanas o industriales, deben incluir la estimación de los siguientes parámetros, como mínimo:

- Caudal (incluyendo los caudales punta y mínimos).
- Temperatura
- pH
- Sólidos sedimentables
- DBO5 total y disuelta
- DQO total y disuelta
- Sólidos Totales (suspendidos y disueltos)
- Nitrógeno Total Kjeldahl – NTK
- Fosfatos
- Grasas y Aceites
- Sulfatos
- Presencia de agentes de limpieza (tipo, volumen empleado, frecuencia de uso)

Para una mejor comprensión, se detallan con mayor profundidad los conceptos de DBO<sub>5</sub>, DQO y metales pesados.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es la cantidad de oxígeno necesaria para que se produzca la oxidación bioquímica de la materia orgánica contenida en un líquido. Esta oxidación es llevada a cabo por microorganismos presentes en el mismo a través de procesos metabólicos como la respiración. Brinda una idea de la cantidad

de oxígeno disuelto que deberá aportar el cuerpo receptor para depurar el vuelco. (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018)

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar los compuestos de una muestra con un oxidante fuerte. Mientras que la DBO5 solo detecta el material orgánico que degradan los microorganismos, la DQO incluye también los compuestos orgánicos no biodegradables y algunos compuestos inorgánicos. (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018)
- **Metales pesados:** Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual. (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., 2018)

### 1.2.2 Influencias en el medio receptor

El vertido de sustancias orgánicas degradables produce una disminución del oxígeno disuelto, ya que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio: se consume oxígeno combinado en lugar de molecular, creándose un ambiente reductor, con la aparición de amoníaco, nitrógeno y ácido sulfhídrico, y la reducción de sulfatos a sulfuros; el agua se torna oscura, de olor desagradable y con gérmenes patógenos. (Persino)

La incorporación de compuestos tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos, eliminan los organismos depuradores, o bien inhiben su desarrollo impidiendo reacciones enzimáticas. Intoxican también a varios niveles de la cadena trófica, desde microorganismos hasta animales superiores. (Persino)

### **1.2.3 Tratamiento del agua residual**

Toda agua servida o residual debe ser tratada tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Una Planta de tratamiento de aguas servidas debe eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna. Además, el proceso debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta. Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella. (Persino)

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años (Breschi, 2011)

El objetivo de los tratamientos es, en general, reducir la carga de contaminantes del vertido y convertirlo en inocuo para el ambiente. El tratamiento a realizar dependerá de las características físicas y químicas del agua a tratar es decir de las características de la industria (Breschi, 2011).

#### **1.2.3.1 Etapas del tratamiento del agua residual**

Se conoce como operaciones unitarias aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí

para constituir los así llamados tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado) (Metcalf & Eddy INC, 1995)

**Etapla preliminar:** Esta etapa consiste en cumplir dos funciones principales; medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta y extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

**Etapla primaria:** El objetivo de esta etapa es eliminar los sólidos que se encuentran en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple.

**Etapla secundaria:** Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación.

**Etapla terciaria:** Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual.

**Desinfección:** Las aguas servidas tratadas normalmente contienen microorganismos patógenos que sobreviven a las etapas anteriores de tratamiento. Por tal razón es necesario proceder a la desinfección del agua. (Persino)

**Tratamiento de los lodos:** Los sedimentos que se generan en las etapas primaria y secundaria se denominan lodos. Estos lodos contienen gran cantidad de agua (99%), microorganismos patógenos y contaminantes orgánicos e inorgánicos. El propósito del tratamiento de los lodos es destruir los microbios patógenos y reducir el porcentaje de humedad. (Persino)



### **1.3 Impactos ambientales del área de galvanoplastia**

La industria de Galvanoplastia lleva involucrado un alto consumo de agua, tanto en los baños de proceso como en las etapas de lavado y enjuague. Los efluentes líquidos producidos, constituyen una fuente de contaminación importante debido a la alta toxicidad de los desechos que genera, encontrándose conformados mayoritariamente por metales pesados, tales como zinc, níquel, cromo, cobre, cadmio, los cuales son considerados, entre otros aspectos, inhibidores de tratamientos biológicos de residuos líquidos y dañinos para la salud.

Esta potencialidad contaminante tiene su justificación al considerar los volúmenes de agua utilizados en los procesos, sobre todo en los de lavado que presentan contaminantes en descargas continuas. El mayor impacto ambiental del sector entonces, concierne los efluentes líquidos y eventualmente los lodos de tratamiento de dichos efluentes que van a contener los metales pesados.

El proceso de recubrimiento metálico, en general, es muy poco efectivo ya que sólo una pequeña cantidad de las sustancias utilizadas en éste se deposita en la pieza. Hasta un 90% de las sustancias puede evacuarse a través de las aguas residuales.

En general, los residuos líquidos descargados por este tipo de industria, provienen de:

- Aguas de lavado, enjuague y enfriamiento
- Goteos y derrames
- Baños de proceso agotados
- Mantenimiento de baños de proceso
- Soluciones de sistemas de lavado/extracción de gases
- Pérdidas accidentales

Estos residuos líquidos, están caracterizados por picos de acidez y alcalinidad, sustancias grasas, aceites, cationes metálicos, cianuros, disolventes orgánicos halogenados y no halogenados, fosfatos, boratos, cromatos, sulfatos y baja carga orgánica que le imprimen una carga contaminante tóxica (Chidiak, López, Ramos & Mokobodzki, 2009).

## 2. Introducción a la galvanoplastia

La industria galvánica representa una pieza importante para la economía de un país, ya que engloba la producción de muchos artículos importantes en la sociedad. Sin embargo, es una de las mayores industrias de generación de desechos peligrosos por su alta concentración en sustancias químicas contaminantes (Breschi, 2011).

Las piezas a tratar pueden ser metálicas o plásticas y en ambos casos el tratamiento tiene como finalidad modificar las características de estas superficies para dotarlas con nuevas propiedades. La modificación puede realizarse por deposición de capas de metal sobre la superficie a tratar, o bien por conversión de dicha superficie a través de reacciones de oxidación-reducción. (Canales, 2009)

A las superficies metálicas se les confiere, mediante su recubrimiento, propiedades principalmente: (Canales, 2009)

- decorativas.
- protectoras: mayor dureza, mayor resistencia a la corrosión.
- funcionales: para favorecer tratamientos posteriores.

Los tratamientos superficiales se hacen en su mayoría en medio acuoso, sumergiendo piezas metálicas en soluciones de productos químicos contenidas en cubas de proceso, y aplicando enjuagues entre las diferentes operaciones para evitar que la siguiente se contamine con la anterior. El uso del agua sin el adecuado control, genera impactos sobre el recurso hídrico superficial y subterráneo. Su uso no sustentable, conlleva, entre otros, al aumento de los caudales de las aguas residuales o efluentes, haciendo difícil y más costoso el tratamiento de las mismas (Asociación Argentina de Acabado de Metales)

Las aplicaciones más importantes del sector galvanizado en caliente son las siguientes: agricultura, armaduras, construcción naval, edificación, electricidad y telecomunicación, entre otras (Galambosiova, 2013).

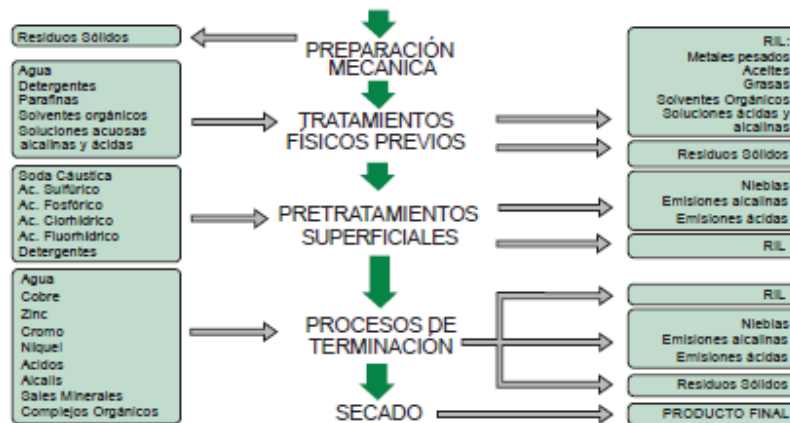


Figura 2: Proceso Genérico de Galvanoplastia

## 2.1 Etapas del proceso de galvanoplastia

Antes que se deposite la capa metálica, la superficie a cubrir debe estar libre de impurezas, tales como grasa y óxidos. Para ello, se aplican procedimientos de preparación de superficies.

### Desengrase

En la limpieza de las piezas se emplean grasas, aceites, emulsiones de corte y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. Se elimina cualquier tipo de grasa debido a su composición alcalina y a los compuestos tensioactivos que disminuyen la tensión superficial del aceite del baño. (Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas).

## **Lavado**

Es recomendable realizar un enjuague de las piezas con agua limpia antes de que pasen a la etapa siguiente ya que estas pueden arrastrar componentes del baño de desengrase que al incorporarse al baño de decapado alargarían el tiempo de permanencia de las piezas en este último, por eso es aconsejable que la etapa de desengrase se haga correctamente (Galambosiova, 2013).

## **Decapado**

El decapado con ácido se utiliza para eliminar impurezas y óxidos a través de un ataque químico, el cual frecuentemente se aplica después de un lavado alcalino. El más utilizado es el ácido clorhídrico debido a que puede operar a temperatura ambiente y produce menor contaminación en las etapas posteriores (Galambosiova, 2013).

## **Activado**

El proceso de activado, también llamado neutralizado e inclusive decapado suave, se utiliza para eliminar la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del metal una vez que la superficie ha sido tratada o lavada en sucesivas etapas. (Galvis & Montealegre Murcia, 2003).

Una vez que se ha concluido el procedimiento de limpieza de la pieza se procede a hacer el recubrimiento metálico que como se explicó antes puede realizar con un método electrolítico o químico (Galvis & Montealegre Murcia, 2003).

## **Galvanizado**

Un proceso electrolítico requiere:

- solución electrolítica.
- electrodos conductores.
- corriente eléctrica.

El esquema general de un proceso electrolítico puede representarse:

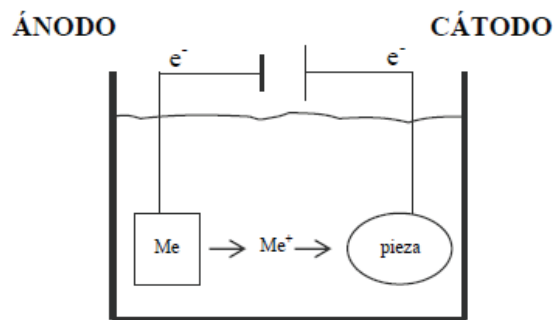


Figura 3: Esquema general del proceso electrolítico. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Los baños de recubrimientos electrolítico se dividen en baños ácidos y alcalinos. Los baños ácidos contienen sulfatos, cloruros, fluoroboratos y sulfamatos de los metales a depositar. Los baños alcalinos se componen sobre la base de complejos de hidróxidos o cianuros (Galvis & Montealegre Murcia, 2003).

Algunos de los posibles procesos electrolíticos son:

- Cincado.
- Cadmiado.
- Niquelado.
- Cobreado.
- Cromo duro y decorativo.
- Estañado.
- Metales preciosos.
- Anodizado de aluminio.
- Electropulido.

## 2.2 Concepto de arrastre

El arrastre es la cantidad de líquido que impregna las piezas y los soportes utilizados en el proceso, como consecuencia del proceso productivo. (Canales Canales, 2009).

En la figura debajo se observa una cuba de proceso en la cual ingresa con la pieza un arrastre proveniente de las cubas anteriores y cuando la pieza deja la cuba de enjuague se lleva consigo un arrastre de la cuba de enjuague a la otra cuba del proceso. Además, se esquematiza la entrada y salida de agua de la cuba. (Abuin, Alanis, Mahmud, Valentini, & Fernández)

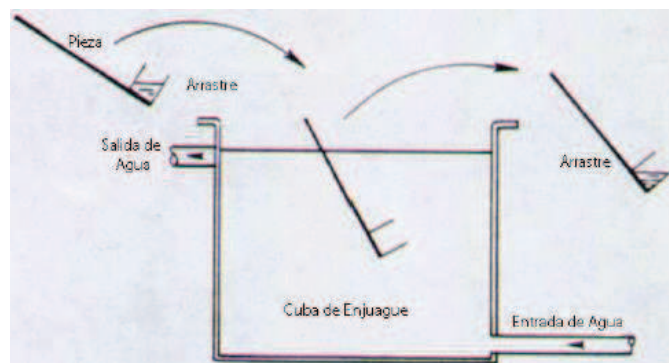


Figura 4: Esquema de arrastre en piezas. Fuente: (Abuin, Alanis, Mahmud, Valentini, & Fernández)

## 3. Introducción a la empresa

### 3.1 Introducción

La empresa en cuestión es una multinacional que se dedica a la fabricación de autopartes. En la fábrica de La Plata las piezas producidas requieren del tratamiento de galvanoplastía. Esta es la principal razón por la cual se eligió esta planta, ya que implica un mayor desafío en cuanto a los procesos involucrados.

El predio abarca aproximadamente unos 29.408 m<sup>2</sup>, dentro de los cuales se desarrollan todas las actividades propias del proceso productivo, con una superficie libre de 16.285 m<sup>2</sup>. Al estar en una zona residencial, implica que haya una mayor consideración con respecto a factores tales como ruidos, olores y emisiones gaseosas.

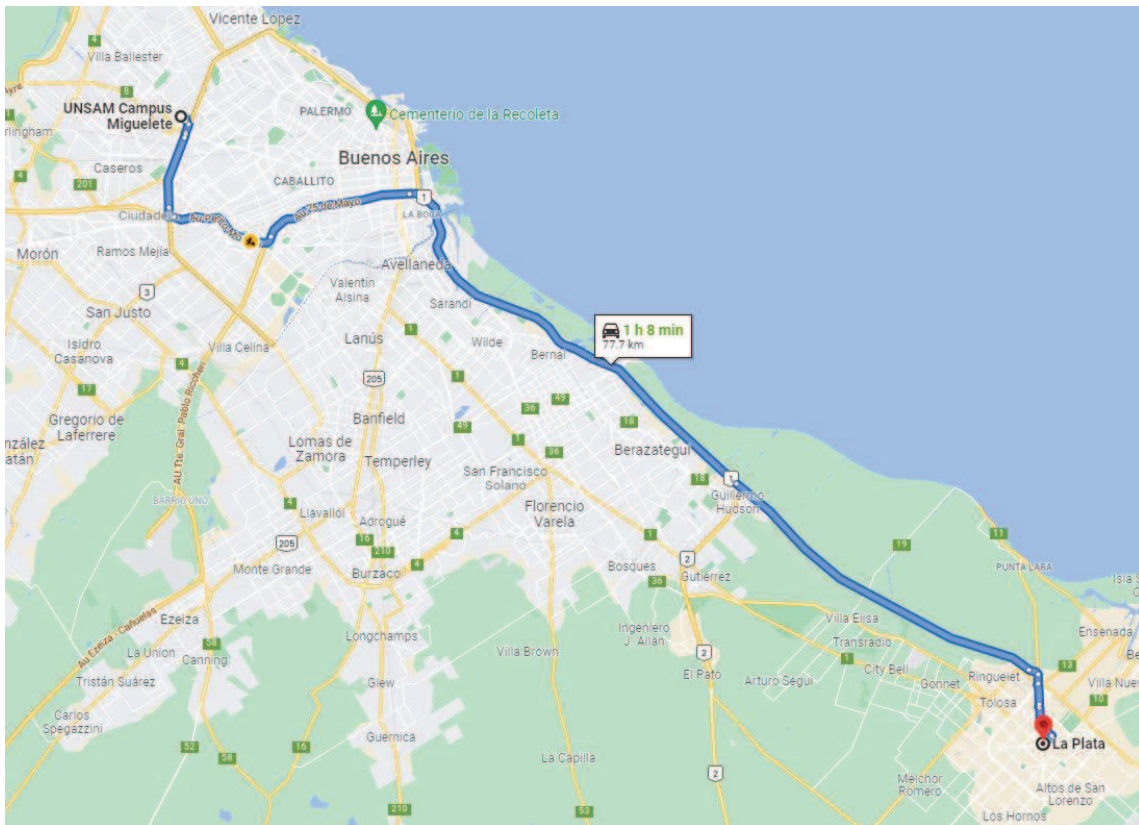




Figura 5: Se muestra como referencia la distancia que existe entre la Ciudad de La Plata y el Campus Migueletes de la UNSAM. Fuente: Google Maps

Actualmente en la planta trabajan unas 110 personas, entre operarios y administrativos. Existen dos turnos de trabajo para la parte de producción; el primer turno comienza a las 6 y termina a las 15 hs, mientras que el turno tarde es de 15 a 22 hs. Las personas de oficina trabajan de 8 a 17 hs. La empresa ofrece servicio de comedor para todos los empleados.

Gran parte del personal trabaja para la empresa desde hace muchos años, y tienen un gran cariño por la misma. Muchos están desde hace más de 20 o 30 años, por lo tanto, a la fábrica la conocen “como la palma de su mano”. En el pasado, había muchas más personas en la fábrica, con más turnos, ya que la producción era mucho mayor. Debido a decisiones corporativas y crisis económicas tanto internacionales como nacionales, la producción fue cayendo. Por lo tanto, hay galpones y espacios vacíos, que contienen una gran historia y hoy en día ya no se usan.

## **3.2 Abastecimiento de agua y efluentes generados**

Por más que esté en una zona residencial, la fábrica no está conectada a la red domiciliaria de agua potable de ABSA (Aguas Bonaerenses S.A.), sino que toma toda el agua directamente del pozo freático. Por lo tanto, la disposición final de los efluentes líquidos reúne tanto los restos de producción, como también los efluentes líquidos de la cocina y de los sanitarios (duchas e inodoros), y es volcado al Arroyo Don Carlos.

### **3.3 Información del proceso productivo de la fábrica**

En el predio se fabrican cojinetes, bujes, arandelas y semi anillos de empuje y otra unidad de negocio atiende la comercialización de productos (Centro de Distribución), además de las instalaciones propias de toda Administración. Cuenta con servicio de vigilancia, servicio médico, servicio de limpieza y comedor.

El proceso que se describe a continuación, no presenta procesos complicados o de riesgo grave y están controlados y monitoreados con todos los elementos de prevención necesarios (sin incidentes durante la operación de Planta). No hay actividades externas vinculadas con las instalaciones descriptas.

#### **Descripción de las líneas de producción y diagrama de flujo**

Los productos se agrupan en cuatro familias:

- Cojinetes lisos (líneas de Servicio Liviano y Servicio Pesado)
- Cojinetes con pestaña (línea de Servicio Pesado)
- Bujes (línea de Servicio Pesado, manuales o progresivos “matriz”)
- Semi Anillos de Empuje (línea de Servicio Pesado)

Dentro de la fábrica, existen dos líneas de mecanizado por donde es procesado el cojinete. El proceso de Servicio Liviano se caracteriza por tener máquinas con mayor automatización. El proceso de Servicio Pesado se caracteriza por ser más manual.

En el Diagrama de Flujo que se presenta a continuación, están descriptas por líneas de producto, todas las operaciones posibles que puede llevar un producto. No es necesariamente el que tienen todas las piezas.

El producto se fabrica con flejes bimetálicos de acero con una capa de aleación antifricción a saber: aleaciones de base cobre y aleaciones de base aluminio.

Las piezas que llevan galvanoplastia son con aleación antifricción de base cobre (aproximadamente 30% de la producción total). El resto no requieren galvanoplastia y son con aleación antifricción de base aluminio, sólo se les da un baño de aceite protector para preservar al producto de la oxidación.

Algunas piezas de la familia de bujes y semi anillos de empuje, pueden requerir un proceso galvánico de estañado.

El producto en proceso queda protegido por una fina capa de aceite protector propio de los flejes asegurando la ausencia de óxido durante todo el proceso, careciendo de agregado alguno de otros productos salvo los de limpieza cuando lo que trae el fleje es excesivo (la generación de residuos con aceite por el producto es mínima, la supera lo utilizado para la limpieza de máquinas, en ambos casos los residuos se tratan como residuo especial).

### **Las operaciones se dividen en cinco grandes grupos:**

#### **Corte y/o conformado en prensas.**

Herramientales apropiados “cortan” la materia prima y por deformación plástica le dan forma (se generan descarte de flejes propios del proceso, “recortes” que se mantienen separados según el tipo de aleación). Es aplicable a todos los productos (se generan recortes de materia prima “fleje” y algunos metros de fleje).

#### **Punzonados**

Herramientales apropiados perforan las piezas y producen agujeros; otros son deformaciones plásticas, como el caso del punzonado de uña (se generan pequeños recortes de materia prima “fleje”).

### **Maquinados**

Todo proceso que genere viruta por maquinado, como las terminaciones en: anchos, recámaras, canaletas, diámetros y radios, ancho total, rebabados, rectificados, altura, espesor (se generan virutas de diferentes aleaciones que se mantienen separadas según el tipo de aleación).

### **Galvanoplastia**

Para los cojinetes de aleación base cobre se los somete a un proceso de deposición por electrólisis de una fina capa de aleación de base plomo; la secuencia del proceso es: limpieza por ultrasonido, desengrase, enjuague, decapado, enjuague, barrera de níquel, escurrido, enjuague, escurrido, baño de plomo, escurrido, enjuague, baño de flash de estaño, enjuagues y secado (los baños se mantienen con agregados de químicos y agua, se reducen por el proceso “material en las piezas y evaporación”), al efluente industrial solo va el agua de enjuague.

Para algunos cojinetes (cosmética) y para algunos bujes y/o semi anillos de empuje, se los somete a un proceso de deposición por electrólisis de una fina capa de estaño; la secuencia del proceso es: desengrase, enjuague, decapado, enjuague, baño, enjuague en caliente, secado (en ambos procesos los desechos como: sedimentos, filtros, bolsas de ánodos, guantes y trapos contaminados; se tratan como residuos especiales).

### **Empaque**

Todos los productos se someten a un empaque estandarizado y/o según requisitos del cliente, basado en la sujeción de los componentes con un sellado por temperatura de una lámina de nylon solo, o sobre cartón con sellado de PVC termo contraíble, y posterior colocación en cajas (hay desechos por recortes de: nylon, PVC, papel y cartón).

Las materias primas utilizadas son:

- Flejes bimetálicos con aleaciones de base Cobre, o base Aluminio (el respaldo es de acero al carbono de bajo contenido de carbono).
- Productos químicos para galvanoplastía.
- Lingotes de Plomo y de Estaño para los ánodos del proceso de galvanoplastía.

Los productos de proceso son: piedras abrasivas para tamboreados, limpiadores, nylon, PVC, papel, cajas de cartón, pallets de madera, aceite protectorio, etc. (hay desechos del embalaje, pallets de los flejes, residuos especiales).

Los productos de servicio, son: aceros para herramientas, aceites para lubricación de máquinas, piezas de repuesto, herramientas, tornillería, lijas, etc. (hay desechos del sector: virutas, abrasivos, etc.).

La energía que se consume es básicamente eléctrica (accionamiento de máquinas, calefactores, y servicios), el gas se utiliza básicamente para calefaccionar el ambiente de trabajo (invierno) y a nivel proceso para calentamiento de los baños de estaño y para fundición de ánodos (frecuencia mensual).

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO

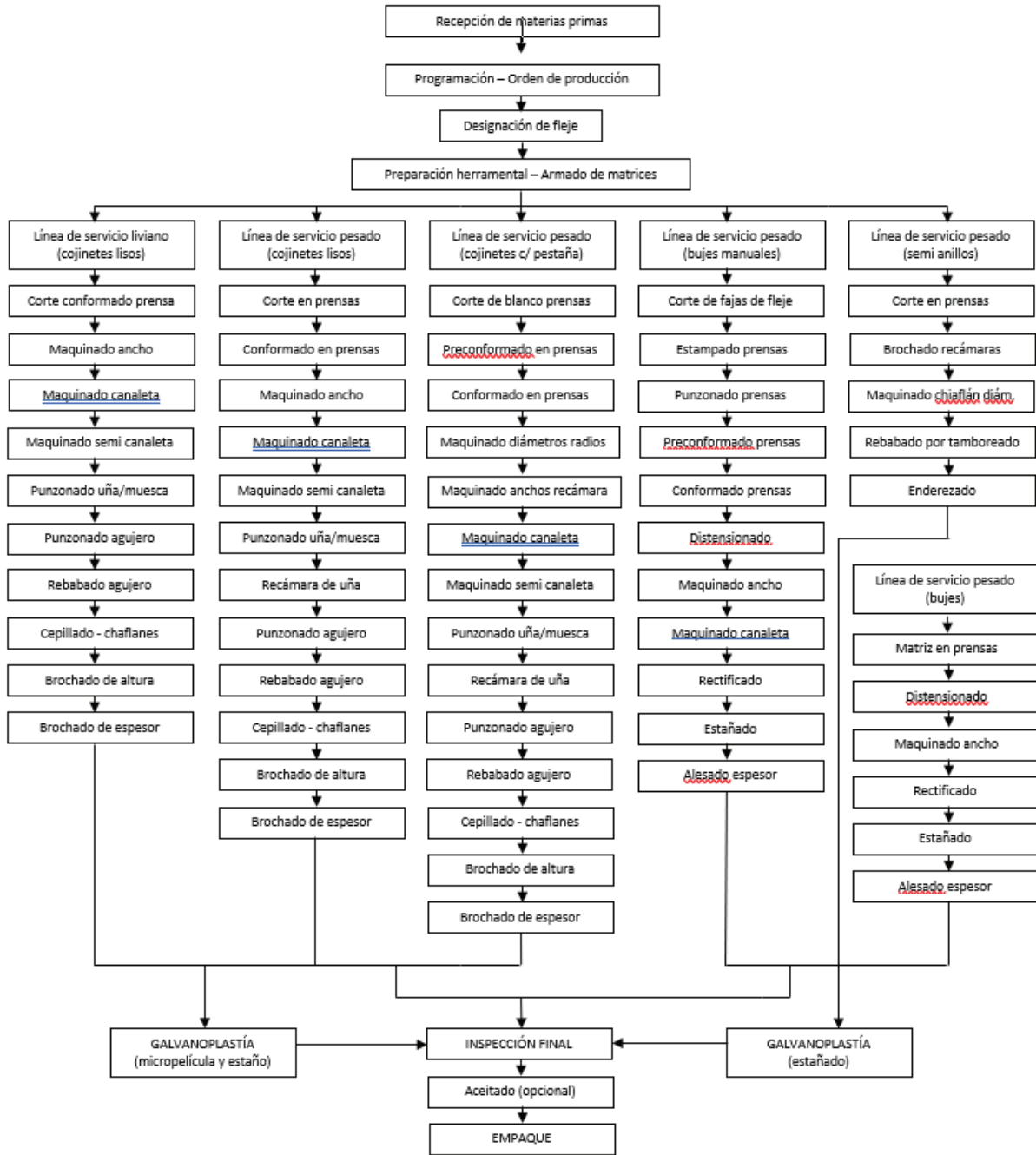


Figura 6: Diagrama de flujo del proceso productivo de la empresa. Fuente: Empresa.

### 3.4 Diagrama del proceso de Galvanoplastia en la fábrica

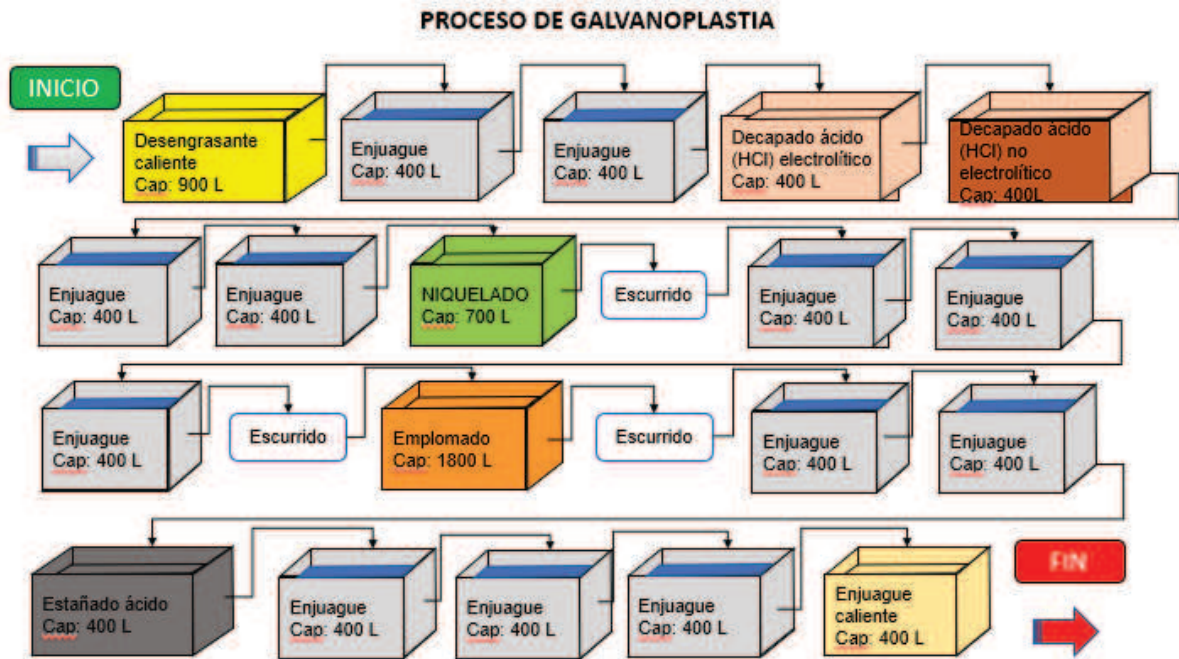


Figura 7: Diagrama de bloques del proceso de galvanoplastia en la fábrica.

A continuación, se pueden ver algunas imágenes del sector de galvanoplastia como referencia.



Figura 8: Imagen del sector de galvanoplastia en la empresa.



Figura 9: Imagen del sector de galvanoplastia en la empresa.



## **4. Caracterización del efluente líquido y objetivos de tratamiento**

Para realizar el diseño de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, es muy importante conocer qué es lo que se debe tratar, cuáles son las concentraciones iniciales de los líquidos, y así poder decidir qué tratamiento aplicar.

Debido a la situación actual por la que está atravesando el mundo con respecto al Coronavirus (COVID-19), es imposible asistir a la fábrica para tomar muestras del efluente, como así tampoco es posible realizar análisis de laboratorio en el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3ia) de la UNSAM. Es por eso que, ante un panorama tan incierto, los datos son todos bibliográficos, de manera de poder caracterizar al efluente lo más parecido posible al de la fábrica en cuestión.

### **4.1 Caracterización de las bateas de galvanoplastía**

Tal como se mencionó en los capítulos anteriores, el proceso de galvanoplastía que se lleva a cabo en la fábrica utiliza bateas de 400 litros aproximadamente. Éstas pueden contener agua para el enjuague, desengrasante caliente, decapado ácido, níquel, plomo y estaño.

Tabla 1: Productos que se encuentran en cada una de las bateas de tratamiento.

Batea	Productos utilizados
Desengrasante caliente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 kg True Volt 45</li> </ul>
Decapado ácido electrolítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 90 L Ácido Clorhídrico</li> </ul>
Decapado ácido no electrolítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 90 L Ácido Clorhídrico</li> </ul>
Niquelado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 kg Sulfato de Níquel</li> <li>• 32 kg Cloruro de Níquel</li> <li>• 28 kg Ácido Bórico</li> </ul>
Emplomado (Overplating)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 378 L Fluoborato de plomo</li> <li>• 24 L Fluoborato de cobre</li> <li>• 126 L Fluoborato de estaño</li> <li>• 220 L Ácido Fluobórico</li> <li>• 9 kg Hidroquinona</li> <li>• 3,6 kg Gelatina</li> </ul>
Estañado ácido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 L Fluoborato de estaño</li> <li>• 58 L Ácido fluobórico</li> <li>• 1,4 kg Gelatina</li> <li>• 3,6 kg Hidroquinona</li> </ul>

Luego, lo que se busca es calcular las concentraciones de cada uno de los elementos en las bateas. Estos parámetros bibliográficos fueron tomados de la Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas ya que era la que brindaba una mayor especificación de cada una de las bateas.

## 4.2 Pretratamientos químicos

### 4.2.1 Desengrase con detergentes

El proceso de desengrase que se da al principio del proceso, es un desengrase químico. A continuación, se puede ver la tabla donde se toman las concentraciones estándar.

Utilizando el valor provisto en la Tabla 1, se puede estimar la concentración del producto por batea. La batea de desengrase es de 900 litros, mientras que la cantidad total de desengrasante es de 9 kg, obteniendo así una concentración de 10 g/l. El tipo de desengrase que se lleva en la empresa es de desengrase químico, no por ultrasonido. Si se compara el dato obtenido con la tabla con datos bibliográficos, este está por debajo del intervalo estándar.

Tabla 2: Desengrase electrolítico. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Desengrasante	Tipo de tratamiento	Composición y Condiciones de Trabajo	
		Productos	Concentración
Solución alcalina con detergentes	Desengrase químico y Desengrase Químico por Ultrasonidos	Soda Cáustica	40 g/l
		Carbonato sódico	25 g/l
		Fosfato trisódico	10 g/l
		Metasilicato sódico	10 g/l
		Tensioactivos	2 – 5 g/l
		Complejantes metálicos	Variable
		pH	12 - 14
		Temperatura	60 – 90 °C

Los productos preparados para desengrase químico y desengrase químico por ultrasonidos se utilizan a una concentración del preparado entre los siguientes intervalos:

- Desengrase químico: 40-100 g/l
- Desengrase químico por ultrasonidos: 10-30 g/l.

## 4.2.2 Decapado

Para el caso del decapado ácido, se encuentra el ácido clorhídrico, que es el que se utiliza tal cual en el proceso en cuestión. Además, cita a otros tipos de ácidos, y los % de concentración suelen ser todos muy similares entre sí.

Tabla 3: Decapado. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Decapante	Composición y Condiciones de trabajo
Ácido sulfúrico	Concentración: 25% Temperatura: 60°C
Ácido clorhídrico	Concentración: 18 – 22 % Temperatura: 30 – 35 °C
Ácido fluorhídrico	Concentración: 20 – 25 % Temperatura: 35 – 40 °C
Ácido nítrico	Concentración: 10% Temperatura: 68 – 79 °C

Nuevamente, si se compara con la tabla de cantidades de cada una de las bateas, se utilizan dentro de cada una de las bateas de decapado hay 90 litros de ácido clorhídrico. Con un volumen de 400 litros cada una de las bateas, se obtiene que la concentración de trabajo es del 22.5%. Ese valor se asimila mucho al que se encuentra en bibliografía.

## 4.2.3 Niquelado

Este tipo de baño opera sin aditivos, aunque en ocasiones se adicionan agentes humectantes para reducir la generación de burbujas de aire en la superficie del baño.

A continuación, se detalla la formulación básica de un baño de níquel. Este baño es denominado Níquel Watts. Se procede a calcular la concentración real de los baños en estudio y compararlo con los bibliográficos.

Tabla 4: Composición baño níquel. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Producto	Concentración
Sulfato de Níquel	90 – 375 g/l
Cloruro de Níquel	200 – 100 g/l
Ácido Bórico	30 – 45 g/l

Las condiciones de trabajo requeridas para el tratamiento de baño de níquel son las siguientes:

- Temperatura: 50 – 65 °C
- Densidad de la corriente: 1 – 8 Amp/dm<sup>2</sup>
- pH: 3,5 – 4,5
- tensión: 1 – 15 V

Una vez hechos los cálculos sobre la empresa, se obtiene que la concentración del sulfato de níquel es de 428.6 g/l, la de cloruro de níquel es de 45.7 g/l, y por último, la de ácido bórico es de 40 g/l. Esta última es la única que se encuentra dentro de los parámetros bibliográficos, pero las otras dos no están tan alejadas.

#### 4.2.4 Estañado

El estañado de piezas se utiliza en muchas aplicaciones debido a sus propiedades. Este tipo de recubrimiento no es tóxico, es dúctil, resistente a la corrosión y de fácil recubrimiento. Esto hace posible que piezas con formas complejas puedan ser perfectamente recubiertas.

Tabla 5: Composición baño estaño. Fuente: Elaboración propia

Producto	Concentración
Sulfato de estaño (ácido)	20 – 40 g/l
Fluoborato de estaño (ácido)	35 – 65 g/l
Estannato de sodio o potasio	15 – 56 g/l

## 4.2.5 Emplomado

Para el caso de la composición de la batea de emplomado, no se encontró información bibliográfica confiable tal como en los casos de niquelado, estañado y decapado ácido. Por lo tanto, se procedió a calcular las concentraciones en base a las composiciones que deben tener las bateas según el instructivo de trabajo provisto por la empresa.

La densidad molecular del Fluoborato de plomo es de 1,83 g/ml a 20°C. Utilizando este valor como referencia, y sabiendo que el volumen total de la batea de Emplomado es de 1800 litros, se obtiene la concentración de Fluoborato de plomo en solución. Lo mismo se hace para todos los otros productos de este baño.

$$[\text{Fluoborato de plomo}] = \frac{1,83 \text{ g st}}{\text{ml st}} * \frac{1000 \text{ ml st}}{1 \text{ l st}} * \frac{378 \text{ l st}}{1800 \text{ l sc}} = 384 \frac{\text{g st}}{\text{l sc}}$$

Tabla 6: Composición baño emplomado

Producto	Concentración
Fluoborato de plomo	384 g/l
Fluoborato de cobre	36.1 g/l
Fluoborato de estaño	120.4 g/l
Ácido Fluobórico	177.2 g/l

## 4.3 Niveles actuales de consumos y emisiones

Existe una gran dificultad para hacer comparaciones dentro del rubro de la Galvanoplastia, tanto en el consumo de materias como en las emisiones, debido a la gran variación que existe entre todas las instalaciones. Esto se debe, en buena parte, al gran número de opciones como consecuencia de la gran cantidad de parámetros de operación (tipo de sustrato, forma de las piezas, sistema de procesado de piezas, tecnología de pretratamiento y

tratamiento de piezas, tecnología de enjuague, tecnología de depuración de aguas y gases, etc.) (Canales Canales, 2009)

### 4.3.1 Consumo de agua

La determinación de los caudales de agua residual a eliminar de una determinada población es fundamental a la hora de proyectar las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación. En aquellos casos en los que los datos sobre caudales sean escasos o inexistentes, es preciso estimarlos partiendo de otras fuentes de información que guarden estrecha relación con los mismos, como puede ser el caso de los datos sobre consumo de agua. (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Para conocer el caudal de consumo de agua de toda la fábrica, tanto para consumo cloacal e industrial, existe un caudalímetro a la salida del pozo. En la tabla debajo se presentan los valores que presentó en ciertos meses. El valor promedio de estos consumos es de 2290 m<sup>3</sup>. Esto se debe a que la producción en el equipo de galvanoplastía no funciona todos los días del año, ya que depende de la demanda en producción.

Tabla 7: Valores consumo de agua de Pozo. Fuente: Empresa.

Mes	Valor (m <sup>3</sup> )
Agosto 2019	1288
Septiembre 2019	2507
Octubre 2019	3375
Noviembre 2019	3012
Diciembre 2019	2153
Enero 2020	1405
<b>PROMEDIO</b>	<b>2290</b>

En la empresa, el agua se destina únicamente para sanitarios, comedor y galvanoplastía. Excepto para el área de Galvanoplastía, no se utiliza agua en el proceso productivo de la fábrica. Por lo tanto, al no tener diferenciados los consumos, se estimaron

los caudales de consumo de agua para fines domésticos. Esta aproximación se realizó en base a las directivas que propone el libro MetCalf. Una vez que se tienen las estimaciones, la diferencia de caudales entre lo leído por el caudalímetro, y lo estimado, se conoce el valor de agua consumido para galvanoplastía.

$$\text{Consumo total de agua} = \text{Galvanoplastía} + \text{Sanitarios} + \text{Comedor.}$$

$$\text{Domésticos} = \text{Sanitarios} + \text{Comedor}$$

$$\text{Agua Galvanoplastía} = \text{Agua Total} - \text{Agua Domésticos}$$

Normalmente se suele dividir el uso público del agua en cuatro categorías:

1. Uso doméstico (agua para uso general y sanitario).
2. Uso industrial (no doméstico).
3. Servicio público
4. Pérdidas en la red y fugas.

El uso doméstico del agua comprende el agua abastecida a zonas residenciales, comercios, instituciones y espacios recreacionales, y se mide a partir de contadores individuales. Los usos a los que se destina incluyen el agua que se bebe, la usada para limpieza, higiene, fines culinarios, evacuación de residuos. (Metcalf & Eddy INC, 1995)

No se utilizan los valores para el industrial, ya que esos valores son para empresas que utilizan agua para sus procesos productivos.

Remitiéndose a la estimación de que el agua total, menos la de domésticos, resultaba en la cantidad consumida para galvanoplastía, se obtiene que el consumo mensual aproximado de agua de galvanoplastía es de 1795 m<sup>3</sup>/mes.

Tabla 11: Estimado de consumo de agua para galvanoplastía. Fuente: Elaboración propia.

Consumo agua galvanoplastía (m<sup>3</sup>)



Mensual	1795
Anual	21540

El mayor consumo se debe a las bateas de enjuague. Gran parte de estos efluentes son de frecuencia conocida, donde el agua entra y sale constantemente. El agua se va descartando por completo y luego se repone con agua de pozo para así no perder la capacidad de enjuague.

A continuación, se presentan ejemplos reales de instalaciones en España pertenecientes a diferentes subsectores. (Canales Canales, 2009)

Los datos aportados son:

- Consumo anual de agua.
- Relación l/m<sup>2</sup> superficie tratada.
- Relación l/m<sup>2</sup> de superficie tratada para cada posición de enjuague. Una posición de enjuague se entiende como una operación de enjuague entre diferentes procesos, ya sea por una o más cubas de enjuague, incluyendo los sistemas por spray.
- Consumo anual de agua (m<sup>3</sup>/año).

La fuente bibliográfica ofrece las opciones de consumo de agua anual para empresas con volúmenes mayores y menores a los 30 m<sup>3</sup> de consumo. Sumando los valores de cada una de las bateas, el valor está por debajo de los 30 m<sup>3</sup>. Observando la Tabla 12, se puede observar que el valor estimado obtenido, es lógico comparado con los provistos en bibliografía. Los dos valores más altos son de 20.400 y 14.820 m<sup>3</sup>, que justamente coinciden con el subsector de estañado y acabados decorativos, que son parte del proceso que se da en la fábrica.

Es decir, los volúmenes de consumo anual que se encuentran en la tabla debajo, son para cada uno de los subsectores. La fábrica en cuestión posee ambos procesos de estañado

y acabados decorativos, pero en menor cantidad a que si fuesen dedicadas exclusivamente para cada uno de los tratamientos. Es por eso que el valor de 21540 m<sup>3</sup> como consumo anual de agua, está dentro de lo esperado.

Tabla 12: Estimado de consumo de agua anual para galvanoplastía de distintas empresas. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Empresas con volumen de cubas menores a 30 m <sup>3</sup>										
Subsector	Acabados decorativos	Acabados decorativos	Cromo duro	Cobre químico	Anodizado	Cromo decorativo	Metales preciosos/lacado	Estañado	Fosfatado	Cincado
Consumo agua (m <sup>3</sup> /año)	14280	7970	5380	670	11500	1980	770	20400	3520	3980

Tabla 13: Consumo de agua por superficie tratada y posición de enjuague. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Subsector	Acabados decorativos	Acabados decorativos	Metales preciosos/lacado	Cinc/níquel	Metalizado plástico
L/m <sup>2</sup> * enjuague	3,54	36,96	15,47	8,17	8,95

Este indicador permite realizar la comparación entre diferentes instalaciones, pues al relativizar el consumo de agua respecto al número de operaciones de lavado se considera el número de etapas o subprocesos que pueden conformar un tratamiento. (Canales Canales, 2009)

Como conclusión, luego de haber presentado los distintos valores de la gran mayoría de los subsectores que hay en la industria galvanoplástica, se puede establecer que el valor estimado obtenido es coherente.

### 4.3.2 Pérdidas en la red y fugas

Es necesario considerar que no todo lo que se consume de agua, luego es liberado como agua residual. Es por eso que hay que tener en consideración las pérdidas en la red y fugas. Con este término se engloban los usos y conexiones no autorizadas, las lecturas y calibraciones incorrectas de los contadores, los contadores mal dimensionados y los sistemas de control inadecuados. Las fugas se producen como consecuencia del envejecimiento de la red, calidad de los materiales de construcción y falta de mantenimiento. (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Tabla 14: Porcentaje del agua consumida que se pierde en la red y fugas según la antigüedad de la cañería. Fuente:

(Metcalf & Eddy INC, 1995)

Menos de 25 años	10 – 12 %
Más de 25 años	15 – 30 %

### 4.3.3 Caudales de las aguas residuales domésticas

Tomando los valores de referencia provistos por las fuentes seleccionadas, se calculan los caudales de aguas residuales domésticas. Éstas serán agregadas a los volúmenes de aguas de galvanoplastia. Se proveen valores para casos de zonas residenciales, como comerciales. Para este caso, se seleccionaron los valores para zonas comerciales.

Tabla 15: Establecimientos comerciales. Caudales de aguas residuales típicos. Fuente: (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Fuente	Unidad	Caudal (m <sup>3</sup> /unidad*día)	
		Intervalo	Valor típico
Edificio industrial (sólo aguas sanitarias)	Empleado	25-60	50
Oficina	Empleado	25-60	50
Restaurante	Comida	15-8	10

Considerando los parámetros y valores de referencia, se procede a calcular el caudal de aguas residuales para la empresa.

Tabla 16: Cálculo de caudales de aguas residuales. Fuente: (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Caudales de domésticas				
Q edif ind	4250	l/día	Q total (m <sup>3</sup> /día)	6.6
Q ofi	1250	l/día		
Q rest	1100	l/día		

#### 4.3.4 Aguas residuales domésticas

Una vez caracterizados los caudales de aguas residuales domésticas, es necesario caracterizar química y biológicamente el efluente de los domésticos. Nuevamente, al no poder tener acceso al efluente líquido directamente de la fábrica, se utilizará la información provista por el libro Metcalf.

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales. En este apartado se presentan datos sobre los diferentes constituyentes de las aguas residuales.

La tabla debajo presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de las concentraciones de estos constituyentes, podemos clasificar el agua residual como concentrada, medio o débil. Tanto los constituyentes como sus concentraciones presentan variaciones en función de la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales. (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Tabla 17: Composición típica del agua residual doméstica bruta. Fuente: (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
DBO5 (20°C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
DQO	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno total	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50

Los efluentes cloacales generados en una fábrica se diferencian de los cloacales residenciales estándar, por su magnitud y origen, ya que provienen únicamente del funcionamiento de cocinas industriales y vestuarios, y son carentes de los efluentes de lavarropas y cocinas comunes. Es por eso que para la concentración de los efluentes cloacales de fábrica se selecciona la columna de concentración media.

#### 4.3.5 Aguas residuales de enjuague de galvanoplastía

En relación a la contaminación por residuos industriales líquidos, los efluentes de galvanoplastía contienen típicamente sustancias inorgánicas que son tóxicas en relación a un tratamiento biológico en las empresas encargadas del tratamiento de aguas servidas.

A continuación, se presentan datos reales de vertidos efectuados por empresas pertenecientes a diferentes subsectores. La bibliografía menciona que todas las muestras fueron tomadas a la salida del sistema de depuración físico-químico que disponen las empresas. Para caracterizar las aguas residuales de enjuague, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del Gobierno de España tomó cuatro muestras para cada una de las diferentes industrias que poseen tratamiento de galvanoplastia. En base a esas cuatro muestras, se calcula la media. Para las demás caracterizaciones, se coloca la fuente de donde fue tomada la caracterización, y añadida a la tabla.

Tabla 18: Datos bibliográficos para la caracterización de los efluentes según el tipo de industria y la fuente. Fuente:

Elaboración propia.

Fuente	Nº Empresa	Tipo de industria
Canales Canales, C. (2009). Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas. España.	1	Zincado
	2	Zincado, Pavonado, Acabados decorativos, Electropulido
	3	Cromo duro
	4	Fosfatado
	5	Níquel – Cromo
	6	Cobre químico

	7	Anodizado
Castañeda Galvis, L. C., & Montealegre Murcia, L. (2003). Diseño de un sistema de neutralización de aguas residuales industriales en el proceso de galvanizado. Bogotá.	8	Acabados decorativos
Morales Posada, N. B., & Acosta Niño, G. E. (2010). Sistema de Electrocoagulación como Tratamiento de aguas residuales galvánicas. Bogotá.	9	Anodizado
FUNDES. (2001). Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica. Colombia: Ministerio del Medio Ambiente.	10	Galvanoplastía general
	11	Galvanoplastía general
Breschi, A. (2011). Propuesta de alternativas de mejora al tratamiento actual de los efluentes generados en el área de galvanoplastía para la empresa Bermúdez Industria Electrometalúrgica C.A. Valencia: Universidad de Carabobo.	12	Cromado

Tabla 19: Caracterización de aguas industriales de enjuague para distintas industrias con galvanoplastía. Fuente: (Canales Canales, 2009).

Parámetro	Unidad	Empresa											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	U pH	8,33	8,04	8,23	7,12	7,52	7,75	7,33	4,1	--	3 - 11	6,3	7,3
Conduc.	µS/cm	1238	4041	2335	1173	2763	2718	--	--	--	--	--	--
Ni	mg/l	0,97	1,31	--	0,38	1,31	--	--	--	3,87	0,72	99	--
Zn	mg/l	6,19	2,15	--	3,19	3,96	--	--	9,5	3,8	73,6	10,9	67,9
Fe	mg/l	1,39	2,76	1,86	0,52	--	--	--	--	--	--	--	--
Cr+6	mg/l	1,10	0,05	0,05	--	0,05	--	--	--	0,02	--	--	--
Cr tot	mg/l	3,09	0,96	0,35	--	0,92	--	--	--	1,82	15,8	162	36,4
CN-	mg/l	0,11	0,07	--	--	0,12	0,15	--	--	--	41,5	3,1	16,8



Sulfatos	mg/l	430	1332	1120	217,5	--	157,5	1430	3720	--	--	--	781
Pb	mg/l	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--
Boro	mg/l	6,56	2,59	--	--	2,76	--	--	--	--	--	--	--
Cu	mg/l	--	0,32	--	--	0,88	1,48	--	--	1,54	2,32	10,8	--
Cloruros	mg/l	--	346	--	--	--	2182	--	--	--	--	--	249
Nitratos	mg/l	--	70,25	--	24,28	--	--	62,28	--	--	--	--	--
Fosfatos	mg/l	--	75,88	--	29,95	--	--	--	--	--	--	--	--
DQO	mg/l	--	82,5	--	102	--	--	--	209	--	--	--	360
Mat. Sedi	mg/l	--	--	--	0,11	--	--	--	--	--	--	--	--
Sales solub	µS/cm	--	--	--	--	--	--	4664	--	--	--	--	--
Fósforo tot	mg/l	--	--	--	--	--	--	72,03	--	--	--	--	0,3
Det. Anió	mg/l	--	--	--	--	--	--	0,67	1	--	--	--	--
Aluminio	mg/l	--	--	--	--	--	--	0,59	--	--	--	--	--
DBO	mg/l	--	--	--	--	--	--	--	20	--	--	--	62
Sólidos Tot	mg/l	--	--	--	--	--	--	--	6603	--	--	--	2860
SST	mg/l	--	--	--	--	--	--	--	499	--	--	--	--

Luego de una exhausta investigación en diferentes fuentes y de reconocer que los valores varían mucho en función del tipo de industria que se lleva a cabo, se busca analizar cuál es la que más se asemeja a la fábrica en cuestión.

Como la fábrica posee diversos tipos de recubrimientos, la categoría de Acabados Decorativos es la que más se parece. El de Cromado no es utilizado, ya que, no hay cromado de las piezas. Además, la empresa 2 incluye una mayor cantidad de tipos de industrias, mientras que todas las demás son muy específicas.

Con respecto al Plomo, DBO y Sólidos Totales, que no se tienen datos de esa misma fuente, se utilizan los valores ofrecidos en las otras fuentes. Esto es debido a que ante la dificultad de analizar el efluente in situ, es conveniente considerarlo e idear un tratamiento para estos compuestos, y no minimizarlos o no tenerlos en consideración.

Luego de haber realizado las aclaraciones correspondientes, se diseña una tabla con los valores finales de caracterización del efluente líquido generado.

Se considera que los valores obtenidos por referencia, especialmente para los parámetros de DQO y DBO, están muy por debajo de lo esperado. Se buscó en diversas

fuentes bibliográficas cuál era el valor que más se ajustaba a la producción de la fábrica, sin embargo, esos valores son muy bajos. En su mayoría, estos efluentes están compuestos por metales y no hay gran presencia de materia orgánica. Por lo tanto, se dispuso que el valor de DQO sea de 4132 mg/l y DBO 2620 mg/l.

Tabla 20: Caracterización final del efluente líquido generado desde el área de galvanoplastia en la fábrica en cuestión.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Unidad	Valores
pH	U pH	8,04
Conduc.	μS/cm	4041,25
Ni	mg/l	1,31
Zn	mg/l	2,15
Fe	mg/l	2,76
Cr+6	mg/l	0,05
Cr tot	mg/l	0,96
CN-	mg/l	0,07
Sulfatos	mg/l	1332,5
Pb	mg/l	1
Cu	mg/l	0,32
Cloruros	mg/l	346,25
Nitratos	mg/l	70,25
Fosfatos	mg/l	75,88
DQO	mg/l	4132
DBO	mg/l	2620
Sólidos Tot	mg/l	2860

#### 4.3.6 Lodos de tratamiento de aguas y baños

Para la mayoría de las instalaciones, el residuo más significativo son los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales. Su contenido en agua, tras su prensado, es de un 60-65 %. Este lodo es habitualmente considerado residuo peligroso y requiere de una gestión adecuada.

La cantidad de lodo generada depende, por un lado, de las condiciones de las piezas a ser tratadas y, por el otro, de los factores específicos de proceso. Como ejemplos de estas condiciones, se citan:

- Entrada de contaminantes con las piezas.
- Decapado de óxidos de la superficie a tratar.

- Arrastre de soluciones de proceso.
- Conversiones de las capas de metal (p.e. cromatizado).
- Vida útil de las soluciones de proceso.
- Sistema de depuración empleado (básicamente, reactivos usados).

La cantidad de lodo que se genera puede estimarse, aproximadamente, conociendo las concentraciones de los baños de proceso y el factor de arrastre (Canales Canales, 2009). Nuevamente, se presentan dos tablas para esta caracterización, una para empresas con volumen de cubas menores a los 30 m<sup>3</sup>, y otra para mayores. Tal como se seleccionó anteriormente, se utilizarán los datos para menores a 30 m<sup>3</sup>.

Tabla 21: Relación superficie agua-lodos empresas menores a 30 m3. Fuente: (Canales Canales, 2009).

Subsector	Acabados deco.	Acabados deco.	Cromo duro	Cobre químico	Anodizado	Cromo deco.	Metales preciosos/lacado	Estañado	Fosfatado	Cincado
m <sup>2</sup> de sup. tratada	221760	30804	--	--	--	--	4500	--	--	--
Consumo agua (m <sup>3</sup> /año)	14280	7970	5380	670	11500	1980	770	20400	3520	3980
Generación de lodos (Ton/año)	48	3,02	11,32	1,6	15,6	--	3,48	--	20,78	--

## **5. Análisis, comparación de las alternativas y elección final**

### **5.1 Introducción**

En este capítulo se presentan las alternativas propuestas para tratar los efluentes líquidos generados por la empresa. Los efluentes líquidos están conformados por los de galvanoplastia y los cloacales.

Teniendo en cuenta la caracterización de los efluentes cloacales, éstos tendrán inicialmente un tratamiento de desbaste, con el fin de eliminar sólidos suspendidos que puedan entorpecer el funcionamiento de bombas o unidades de tratamiento. El líquido atraviesa el desbaste, y cae dentro del tanque de homogeneización. A través de una bomba luego ingresan al tratamiento secundario.

Con respecto a los efluentes industriales, se proponen dos alternativas. Para una de ellas, se acumula el líquido en un tanque de homogeneización, para luego ser tratado con coagulación, floculación y sedimentación primaria. La otra propuesta consiste en tratar los efluentes directamente con ósmosis inversa.

Los efluentes cloacales e industriales se unen en la entrada al tratamiento secundario.

También, se plantea una optimización en el uso del agua de enjuague. Esta optimización es independiente de las propuestas presentadas, ya que reutilizaría el agua ya tratada para ingresarla nuevamente en las bateas de enjuague. El principal consumo de agua que se efectúa en las líneas del proceso proviene de las etapas de enjuague de las piezas.

Actualmente, la mayoría de estos enjuagues presentan una frecuencia conocida, en la cual se descarta completamente el contenido líquido ya utilizado, para luego reponerlo con agua limpia de red y de esta manera reiniciar su ciclo.

Analizando la cantidad de efluentes generados estimada en el capítulo anterior, la relación entre efluentes cloacales e industriales es 1:2. Es decir, se generan casi el doble de efluentes industriales que cloacales. Al ser tan bajo el caudal de efluentes cloacales, pueden ser directamente tratados en el tratamiento secundario. Sin embargo, los industriales sí que deben tener un tratamiento físico-químico. Además, si los cloacales se trataran desde un inicio, implicarían un gasto innecesario de productos químicos para un efluente que no lo necesita.

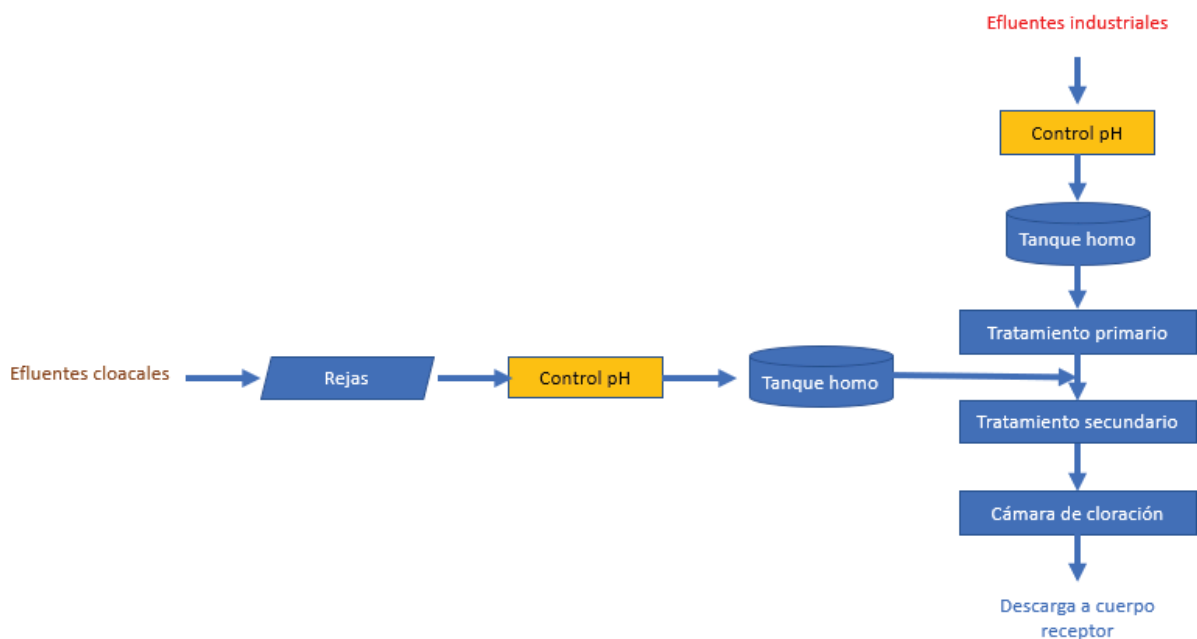


Figura 10: Tratamiento propuesto general de los efluentes.

Una vez caracterizado cada uno de los efluentes, se los compara con los valores permitidos por normativa. La normativa utilizada para el vuelco de los efluentes líquidos es la Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA), autoridad que rige en la Provincia de

Buenos Aires. Los parámetros de conductividad y de nitratos no se encuentran en las tablas de la resolución referenciada y, por lo tanto, se utilizó la Resolución 778/96 del Honorable Tribunal Administrativo del Departamento Gral. de Irrigación de la Provincia de Mendoza.

A continuación, se encuentra la tabla de la Resolución 336/03 del ADA.

Tabla 22: Parámetros de calidad de las descargas límites admisibles. Fuente: Res. 336/03 de ADA.

Parámetro	Unidad	Límites para descargar a:			
		Colectora cloacal	Cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo	Mar abierto
Temperatura	°C	≤45	≤45	≤45	≤45
pH	upH	7,0 – 10	6,5 – 10	6,5 – 10	6,5 – 10
Sólidos Sedim 10 Min	ml/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedim 2 horas	ml/l	≤5,0	≤1,0	≤5,0	≤1,0
Sulfuros	mg/l	≤2,0	≤1,0	≤5,0	NE
S.S.E.E.	mg/l	≤100	≤50	≤50	≤50
Cianuros	mg/l	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
Hidrocarburos Totales	mg/l	≤30	≤30	Ausente	≤30
Cloro libre	mg/l	NE	≤0,5	Ausente	≤0,5
Coliformes Fecales	NMP/10ml	≤20000	≤2000	≤2000	≤20000
D.B.O.	mg/l	≤200	≤50	≤200	≤200
D.Q.O.	mg/l	≤700	≤250	≤500	≤500
S.A.A.M.	mg/l	≤10	≤2,0	≤2,0	≤5,0
Sustancias fenólicas	mg/l	≤2,0	≤0,5	≤0,1	≤2,0
Sulfatos	mg/l	≤1000	NE	≤1000	NE
Carbono orgánico total	mg/l	NE	NE	NE	NE
Hierro (soluble)	mg/l	≤10	≤2,0	≤0,1	≤10
Manganeso (soluble)	mg/l	≤1,0	≤0,5	≤0,1	≤10
Cinc	mg/l	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
Níquel	mg/l	≤3,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
Cromo total	mg/l	≤2,0	≤2,0	Ausente	NE
Cromo hexavalente	mg/l	≤0,2	≤0,2	Ausente	NE
Cadmio	mg/l	≤0,5	≤0,1	Ausente	≤0,1
Mercurio	mg/l	≤0,02	≤0,005	Ausente	≤0,02
Cobre	mg/l	≤2,0	≤1,0	Ausente	≤2,0
Aluminio	mg/l	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
Arsénico	mg/l	≤0,5	≤0,5	≤0,1	≤0,5
Bario	mg/l	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
Boro	mg/l	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
Cobalto	mg/l	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
Selenio	mg/l	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
Plomo	mg/l	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1
Plaguicidas Organoclorados	mg/l	≤0,5	≤0,05	Ausente	≤0,05
Plaguicidas Organofosforados	mg/l	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1
Nitrógeno total	mg/l	≤105	≤35	≤105	≤105
Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤75	≤25	≤75	≤75
Nitrógeno orgánico	mg/l	≤30	≤10	≤30	≤30
Fósforo total	mg/l	≤10	≤1,0	≤10	≤10

Tabla 23: Comparación de la concentración de efluente industrial con la normativa vigente.



Industriales						
Parámetro	Unidad	Valor efluente	Normativa	Resolución	Análisis	% remoción necesaria
pH	U pH	8.04	8.5	336/03 ADA	Cumple	NA
Conduc.	µS/cm	4041.25	1800	778/96 HTA	No Cumple	55.46
Ni	mg/l	1.31	2	336/03 ADA	Cumple	NA
Zn	mg/l	2.15	2	336/03 ADA	No Cumple	6.98
Fe	mg/l	2.76	2	336/03 ADA	No Cumple	27.54
Cr+6	mg/l	0.05	0.2	336/03 ADA	Cumple	NA
Cr tot	mg/l	0.96	2	336/03 ADA	Cumple	NA
CN-	mg/l	0.07	0.1	336/03 ADA	Cumple	NA
Sulfatos	mg/l	1332.5	NE	336/03 ADA	Cumple	NA
Pb	mg/l	1	0.31	336/03 ADA	No Cumple	69.00
Cu	mg/l	0.32	1	336/03 ADA	Cumple	NA
Cloruros	mg/l	346.25	0.5	336/03 ADA	No Cumple	99.86
Nitratos	mg/l	70.25	45	778/96 HTA	No Cumple	35.94
DQO	mg/l	4132	250	336/03 ADA	Cumple	NA
DBO	mg/l	2620	50	336/03 ADA	No Cumple	96.67

Tabla 24: Comparación de la concentración de efluente cloacal con la normativa vigente. Fuente: Elaboración propia.

Cloacales						
Contaminantes	Unidades	Valor efluente	Normativa	Resolución	Análisis	% remoción
DBO5 (20°C)	mg/l	220	50	336/03 ADA	No Cumple	77.27
DQO	mg/l	500	250	336/03 ADA	No Cumple	50.00
Nitrógeno	mg/l	40	35	336/03 ADA	No Cumple	12.50
Orgánico	mg/l	15	10	336/03 ADA	No Cumple	33.33
Amoníaco libre	mg/l	25	25	336/03 ADA	No Cumple	0.00
Nitratos	mg/l	0	45	336/03 ADA	Cumple	N/A
Fósforo	mg/l	8	1	336/03 ADA	No Cumple	87.50
Cloruros	mg/l	50	0.5	336/03 ADA	No Cumple	99.00
Sulfato	mg/l	30	NE	336/03 ADA	Cumple	N/A

## 5.2 Optimización en el consumo de agua

El enjuague es un concepto fundamental a tener en cuenta por su generación de emisiones contaminantes. Los objetivos en cuanto a las alternativas de enjuague son, por tanto, dos:

- Controlar el arrastre de baño producido a los enjuagues.
- Minimizar el consumo de agua.

La empresa tiene un sistema de enjuague simple, donde el agua ingresa por la parte inferior de la batea, y sale por rebalse. Este mecanismo se repite en todas las cubas, donde luego el agua evacuada, se dirige al posterior tratamiento. Existe una reposición continua de agua de pozo para el enjuague. Dependiendo del tipo de tratamiento superficial, es que hay dos o tres bateas de enjuague en serie.

Simplemente para tener en cuenta, en la mayor cantidad de los casos, se supone que la mezcla del arrastre en el agua es completa y prácticamente instantánea, por lo que, en todos los casos, se recomienda:

- agitación vigorosa del enjuague con aire, si no provoca excesiva espuma del arrastre de los tensioactivos de la cuba precedente;
- introducir el agua limpia por el fondo de la cuba;
- fijar la salida del agua sucia en el extremo opuesto al de la entrada.

## Enjuague simple

Con este sistema de enjuague, en general, se requieren grandes caudales de enjuague para mantener la razón de dilución. Se compone de una única cuba de lavado, con agua corriente después del baño de tratamiento. (Canales Canales, 2009). Este es el sistema que utiliza actualmente la empresa.

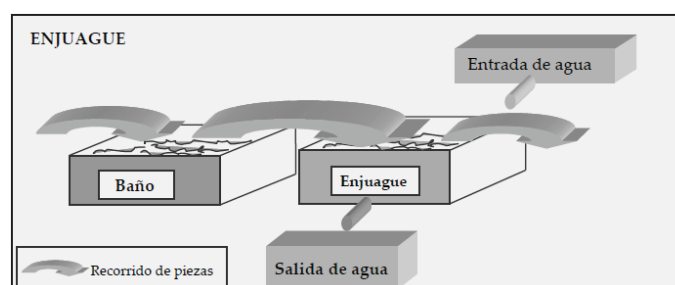


Figura 11: Ilustración del enjuague simple. Fuente: (Canales Canales, 2009)

En todas las bateas de enjuague, se abren por completo las canillas. Dichos enjuagues, remueven restos de productos químicos adheridos a las piezas, por el simple escurrimiento de las placas. Esto genera un consumo de agua muy elevado, que a su vez provoca altos volúmenes de efluente, y los altos costos asociados en productos químicos para su tratamiento. Por lo tanto, se propone una reducción de generación de efluentes líquidos.

### **Enjuague múltiple en cascada a contracorriente**

Se presenta a continuación, una medida para la reducción en origen del consumo de agua potable de red, que por consiguiente reduce el volumen de los efluentes líquidos generados. Las mismas refieren, principalmente, a las distintas cubas de enjuague del proceso.

Los sistemas de enjuague múltiples son los más adecuados para reducir el consumo de agua, manteniendo la calidad de enjuague requerida. Valores de reducción en el consumo de agua, respecto a enjuagues simples, del orden del 95 % o superiores, son fácilmente alcanzables con esta técnica. (Canales Canales, 2009)

El sistema consiste en hacer entrar agua limpia por la última posición del enjuague y hacerla pasar en cascada hasta la primera cuba, desde donde el agua se vierte. El sentido de las piezas es contrario al de la entrada de agua; por ello, el sistema se denomina “en cascada a contracorriente”. (Canales Canales, 2009)

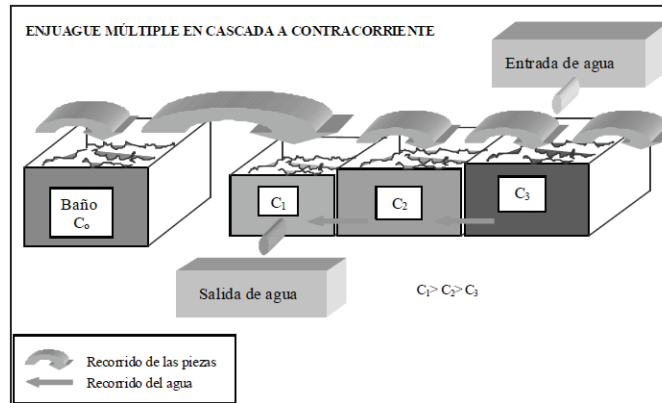


Figura 12: Ilustración del enjuague múltiple en cascada a contracorriente. Fuente: (Canales Canales, 2009)

En la tabla siguiente, a modo de ejemplo comparativo, se facilitan algunos consumos de agua, en función del número de cubas conectadas en cascada a contracorriente: (Canales Canales, 2009)

Sistema de enjuague	Caudal de enjuague Q (l/h)	Porcentaje reducción caudal respecto enjuague simple (%)
Simple	2.000	-
Doble en cascada	44	97,8
Triple en cascada	12	99,4
Cuádruplo en cascada	5,7	99,7

Tabla 199. Consumo agua-enjuague

Figura 13: Porcentajes de reducción de caudal para cada sistema de enjuague con respecto a enjuague simple. Fuente: (Canales Canales, 2009)

Como puede deducirse de la figura 13, en el caso de enjuagues múltiples en cascada a contracorriente, el caudal de enjuague se reduce drásticamente entre la primera y segunda posición de enjuague. Con lo que, habitualmente, se consiguen suficientes reducciones del caudal de enjuague con solo dos posiciones de lavado. (Canales Canales, 2009)

Para evitar los arrastres de metales entre las cubas, se propone cambiar del enjuague simple al enjuague múltiple a contra corriente, con el fin de extender la vida útil del enjuague, y, por lo tanto, disminuir la frecuencia de renovación. El impacto de este cambio, se verá reflejado en el consumo de agua.

No se propone de agregar más bateas o cambiar el layout, porque se aprovecha que hay un mínimo de dos bateas de enjuague luego de cada tratamiento. El enjuague de una pieza se hace más eficiente a mayor cantidad de cubas.

Es necesario mencionar que no se unen las aguas de enjuague de los distintos tipos de tratamiento, sino que hay un ingreso de agua de pozo en cada una de las últimas bateas de enjuague de cada tratamiento. De esta manera, se evitan contaminaciones cruzadas en aguas de enjuague.

El agua de enjuague se va por rebalse y se recolecta en un tanque de almacenamiento. Este tanque no almacenará el total del agua de enjuague por día, sino que se establece que cada cierto tiempo, una bomba impulse el agua al tratamiento posterior. Primero se neutraliza el agua, ya que se trabaja con un pH muy ácido, y luego se dirige a ser tratada. A continuación, un 40% del agua utilizada en los enjuagues se descarga al tratamiento secundario, mientras que el otro 60% se direcciona nuevamente a la boca de extracción de agua para enjuague.

La imagen debajo, sirve para observar cómo es el sistema actual de bateas de enjuague, su alimentación, y tratamiento final.

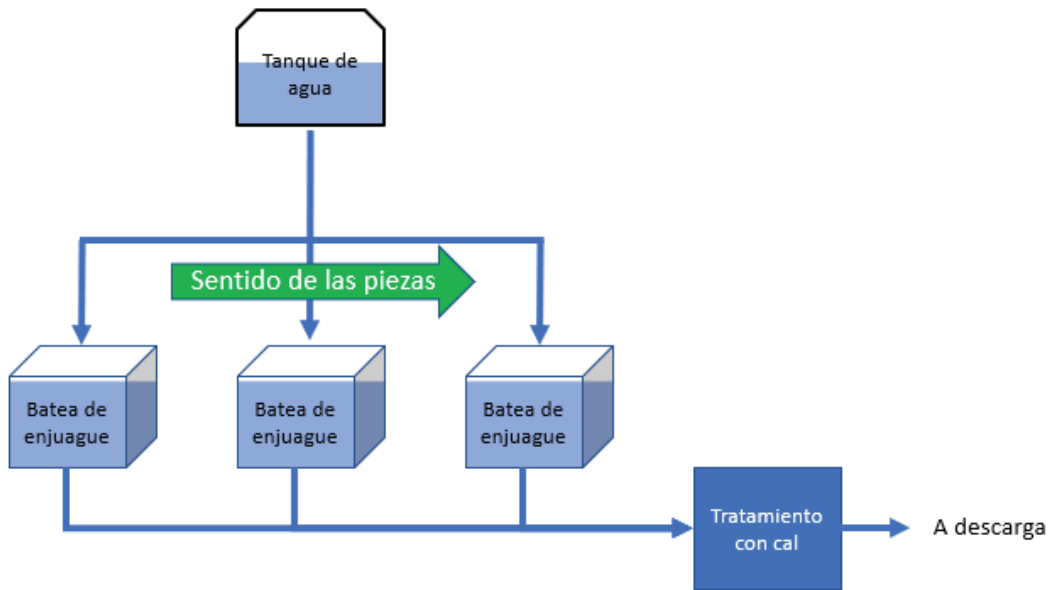


Figura 14: Diagrama del enjuague simple actual de las piezas, y su posterior tratamiento. Fuente: Elaboración propia

Por el otro lado, se muestra un diagrama de qué es lo que se quiere lograr. El sentido de cómo se van rellenando las bateas es opuesta al sentido de ingreso de las piezas.

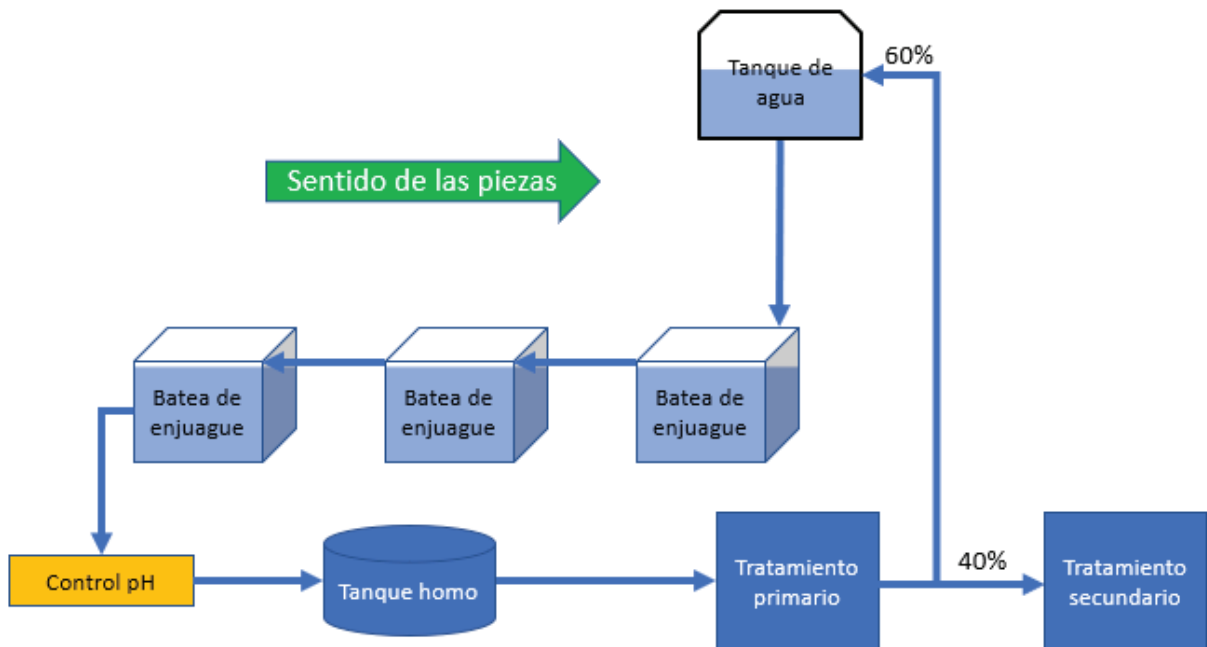


Figura 15: Diagrama del nuevo sistema de enjuague propuesto y su posterior tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

A través de resultados bibliográficos, se puede establecer que cambiar del sistema de enjuague simple al sistema a contracorriente, producirá un ahorro del 95% en el consumo de agua. La única forma de conocer el ahorro que produce este cambio es a través de una estimación en base a bibliografía, ya que no se puede realizar una prueba piloto dentro de la empresa.

Como en el enjuague simple el agua es utilizada una sola vez, es decir, “así como entra, sale”, se puede establecer que, a través de la cantidad total de canillas de enjuague y los caudales de agua en cada una, se obtiene el consumo mensual.

Hay un total de 13 bocas de reposición de agua de enjuague en toda la galvanoplastia. Como todas las cañerías son iguales, el caudal de agua es el mismo en todas las canillas. Los días que trabaja el equipo, está encendido durante todo turno de 8 hs (hay dos turnos por día). El equipo no funciona todos los días del mes, ya que como se dijo anteriormente, depende mucho de la producción y tipo de piezas que se estén fabricando.

Tabla 25: Estimación del consumo de agua actual para galvanoplastia en base a los consumos por canilla. Fuente: Elaboración propia.

Caudal por canilla	0.0003	m <sup>3</sup> /seg*canilla
	0.3	litros/seg*canilla
Bocas de reposición de agua	13	enjuagues totales
Caudal de agua de reposición	0.0039	m <sup>3</sup> /seg enj totales
	14.04	m <sup>3</sup> /hora
	2	turnos x 8 horas/día operativo
	224.64	m <sup>3</sup> /día op
	11	días operativo/mes
	2471.04	m <sup>3</sup> /mes

A continuación, se realizó la estimación de consumo de agua que habría con el circuito a contracorriente. Con este nuevo sistema, ahora no todas las canillas serán alimentadas con agua de pozo. El agua de tanque ingresa por la última batea y sale por la más

próxima al tratamiento superficial, tal como se ve en la figura 12. De esta manera, disminuye el número de bocas de reposición con agua del tanque. El nuevo número de bocas se consigue viendo el esquema presentado en el Capítulo 3 que muestra cómo están distribuidas las bateas actualmente. El caudal por canilla se mantiene constante.

Tabla 26: Estimación del consumo de agua con el sistema a contra corriente para galvanoplastia en base a los consumos por canilla. Fuente: Elaboración propia.

Caudal por canilla	0.0003	m <sup>3</sup> /seg*canilla
	0.3	litros/seg*canilla
Bocas de reposición de agua	5	enjuagues totales
Caudal de agua de reposición	0.0015	m <sup>3</sup> /seg enj totales
	5.4	m <sup>3</sup> /hora
	2	turnos x 8 horas/día operativo
	86.4	m <sup>3</sup> /día op
	11	días operativo/mes
	950.4	m <sup>3</sup> /mes

De esta manera, se obtiene el ahorro anual de agua con un sistema y el otro, que se muestra en la tabla debajo. La bibliografía habla de un ahorro de entre un 90 y 95% de reducción de consumo de agua cuando se pasa de un sistema a otro. Sin embargo, luego de las estimaciones propuestas, el valor obtenido es de un 62% de reducción. Este es un valor lógico, teniendo en cuenta que los datos con los que se trabaja son todos teóricos.

Tabla 27: Comparación de los consumos de agua entre el enjuague simple y a contracorriente con los valores estimados para la empresa. Fuente: Elaboración propia.

	Enjuague simple		Enjuague a contracorriente		Diferencia anual	% de reducción
	Mensual	Anual	Mensual	Anual		
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	2471.04	29652.48	950.4	11404.8	18247.68	62



Ahora bien, considerando que el 60% de esa agua consumida proviene del tratamiento primario, se busca calcular el nuevo valor de consumo mensual de agua de pozo.

Tabla 28: Se presentan los nuevos valores de consumo de agua de pozo mensuales. Fuente: Elaboración propia.

Consumo mensual total (m <sup>3</sup> )	Agua nueva (40%)	Agua reutilizada (60%)
950.4	380.16	570.24

Finalmente, se compara el valor inicial de consumo de agua de pozo, con este luego de la optimización. Se puede concluir, que luego de todo el diseño propuesto, el porcentaje de reducción es de un 85%, con un valor de 25,090 m<sup>3</sup> anuales menos que con el formato actual.

Tabla 29: Comparación de los consumos de agua previo y posterior a la optimización de agua propuesta. Fuente:

Elaboración propia.

	Previo		Posterior		Diferencia anual	% de reducción
	Mensual	Anual	Mensual	Anual		
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	2471.04	29652.48	380.16	4561.92	25090.56	85

## 5.3 Tratamiento de los efluentes líquidos

### 5.3.1 Efluentes industriales

#### 5.3.1.1 Tanque de homogeneización

El tanque de homogeneización y aireación se diseña para amortiguar por laminación las variaciones del caudal, debido al flujo no constante de los efluentes de las distintas etapas. Con ello se logra un efluente lo suficientemente uniforme en cuanto a características y caudal a partir de unos residuos discontinuos y variables en calidad y cantidad. Se produce por una parte una igualación de caudales que tiene como efecto secundario una disminución en la

concentración de contaminantes al reducirse los picos máximos de concentración y por las reacciones que se dan durante al periodo de retención. (Universidad Nacional del Nordeste, s.f.)

Los tanques de homogeneización suelen ubicarse luego del sistema de desbaste (si así lo requiere el efluente) para evitar problemas de bombeo en el mismo y debido a que el desbaste no necesita una alimentación constante. El mismo cuenta con aireadores de fondo que garantizan la mezcla dentro del mismo. (Klug, 2018)



Figura 16: Esquema de un tanque de homogeneización. Fuente: Google Imágenes.

### 5.3.1.2 Propuesta de tratamiento primario N°1

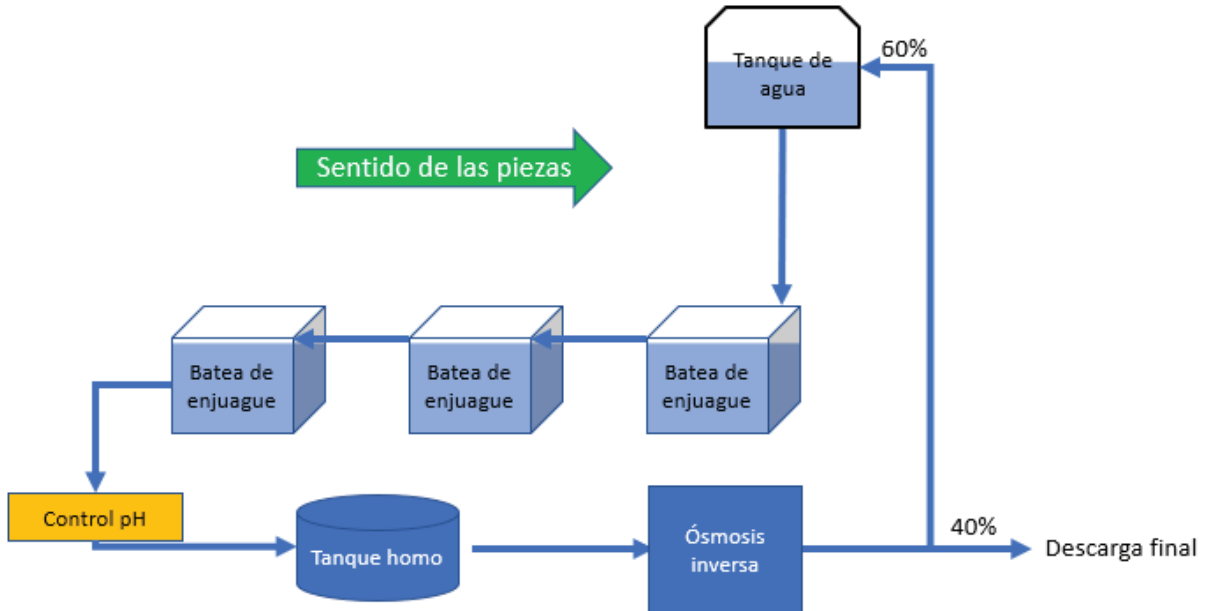


Figura 17: Esquema de la Propuesta de tratamiento primario N° 1. Fuente: Elaboración propia.

Para la Propuesta 1, se presenta un equipo de osmosis inversa, para la cual, se definen los principales conceptos del proceso para una mayor comprensión del sistema.

- Osmosis: La osmosis es un proceso natural donde el solvente, principalmente agua, fluye a través de una membrana semi-permeable, lo que significa que solo deja pasar las moléculas más pequeñas de solvente, de una solución con una baja concentración de sólidos disueltos a una solución con una alta concentración de sólidos disueltos. El solvente, fluye a través de la membrana hasta que la concentración se iguale en ambos lados de la membrana. (Moreno Benavides, 2011)
- Presión osmótica: Esa especie de impulso de la naturaleza que obliga al líquido a pasar de un lado al otro se llama presión osmótica. (Moreno Benavides, 2011)

La ósmosis inversa (OI) es un proceso en el cual se reduce el caudal a través de una membrana semipermeable y se ejerce una fuerza de empuje superior a la presión osmótica en dirección opuesta al proceso de ósmosis. De esta forma se logra separar las sustancias que

se encuentran en el agua en un lado de la membrana (concentrado) y del otro lado se obtiene una solución diluida baja en sólidos disueltos (permeado). (Carbotecnia, 2021)

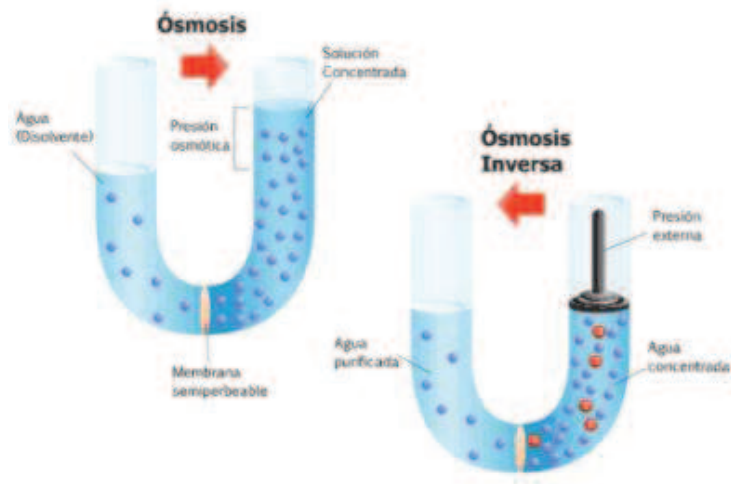


Figura 18: Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa. Fuente: (Carbotecnia, 2021)

Las ventajas de la operación de membranas son: la separación se puede realizar a temperatura ambiente sin cambio de fase, se da sin acumulación de productos dentro de la membrana, no requiere la adición de productos químicos, con lo cual se disminuyen los residuos contaminantes (Reyes)

### **Características de la ósmosis inversa**

- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (99%)
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Proceso de purificación de forma continua.
- Tecnología simple, que no requiere de mucho mantenimiento.
- Es modular y necesita poco espacio, de acuerdo a los caudales deseados. (Moreno Benavides, 2011)

PROCESO DE PRE-TRATAMIENTO QUE ANTECEDE EL PROCESO DE OSMOSIS INVERSA

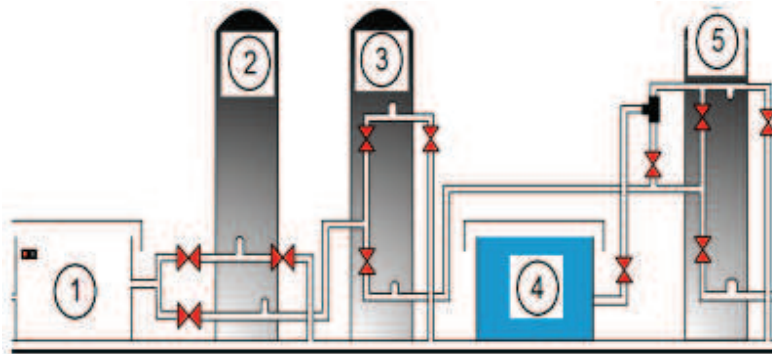


Figura 19: Pre-tratamiento de osmosis inversa. Fuente: (Moreno Benavides, 2011)

Donde:

- Tanque de almacenamiento de Agua.
- Filtro de arena.
- Filtro de carbón activado.
- Salmuera.
- Suavizador.

#### FILTROS DE PRE – TRATAMIENTO DE OSMOSIS INVERSA

Generalmente el proceso de osmosis inversa va acompañado de un pretratamiento que tiene como objetivo filtrar el solvente antes de entrar al proceso de osmosis inversa, con el fin de lograr obtener los mejores resultados posibles y garantizar el mejor funcionamiento de las membranas semipermeables, los principales filtros de pre-tratamiento son: (Moreno Benavides, 2011)

Filtro de sedimentos: Los sedimentos son cualquier partícula que puede ser transportada por un fluido y que se deposita como una capa de partículas sólidas en fondo del agua o líquido, Un filtro de sedimentos actúa como pantalla para remover estas partículas. (Moreno Benavides, 2011)

Filtro de arena: Son muy efectivos para retener sustancias orgánicas, pues pueden filtrar a través de todo el espesor de arena, acumulando grandes cantidades de contaminantes

antes de que sea necesaria su limpieza. El equipo de filtración de este tipo consta de un solo filtro o de una batería de filtros que funcionan en paralelo. La filtración se lleva a cabo haciendo pasar el líquido a tratar, a través de un lecho de arena de graduación especial. El tamaño promedio de los granos de arena y su distribución han sido escogidos para obtener las distancias mínimas entre granos, sin causar pérdidas de altas presiones. (Moreno Benavides, 2011)

Filtro carbón activado: El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes. Se diseña normalmente para remover cloro, sabores, olores y demás químicos orgánicos. (Moreno Benavides, 2011)

Suavizador: También llamado descalcificadora o ablandador de agua, es un aparato que, por medios mecánicos, químicos y/o electrónicos tratan el agua para evitar, minimizar o reducir, los contenidos de sales minerales y sus incrustaciones en las tuberías y depósitos de agua potable (Moreno Benavides, 2011).

Esta propuesta consiste en comprar a través del método llave en mano, una planta de ósmosis inversa, ya que no es posible diseñarla en función a la planta, como bien podría ser la propuesta 2. La eficiencia de remoción de la ósmosis inversa es muy alta, haciendo que sea posible disponer los efluentes directamente en el cuerpo superficial, y no tener que pasar por los sistemas primarios y secundarios.



Figura 20: Se muestra cómo es que se recibiría el equipo ya armado. Fuente: (OJA Solutions)



Imagen representativa

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conexión entrada agua alimentación a la planta.</li> <li>2. Electroválvula de entrada.</li> <li>3. Pre-filtración cartucho grado filtración de hasta 5 <math>\mu</math>. Estándar BIG.</li> <li>4. Electrobomba alta presión.</li> <li>5. Presostato de baja.</li> <li>6. Presostato de alta.</li> <li>7. Electroválvula de flushing.</li> <li>8. Cuadro eléctrico de alimentación y protección.</li> <li>9. Sinóptico.</li> <li>10. Medidor de conductividad agua osmotizada.</li> <li>11. Selector PARO/MARCHA.</li> <li>12. Pulsador flushing manual.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>13. Rotámetros de flujo agua: permeada, rechazo, recirculación y mezcla (opcional).</li> <li>14. Llaves de regulación caudal de agua: rechazo, recirculación y mezcla (opcional).</li> <li>15. Control instantáneo de presión del proceso con manómetros de glicerina.</li> <li>16. Tubos de presión portamembranas.</li> <li>17. Depósito de acumulación agua permeada para flushing automático.</li> <li>18. Conexión para salidas de agua: osmotizada y desagüe (rechazo)</li> <li>19. Válvula de ajuste curva y caudal bomba alta presión.</li> <li>20. Estructura acero inoxidable sustentación de todos los elementos de la planta de osmosis inversa.</li> </ol> |
|---|--|

Figura 21: Componentes del equipo estándar. Fuente: (OJA Solutions)

El equipo industrial es capaz de eliminar sobre un 95% del total de sólidos disueltos, +99% de todos los restos orgánicos, +99% de todas las bacterias, y reduce hasta un 99% el Cloruro, mejorando el sabor y la calidad del agua. (OJA Solutions)

Para el mantenimiento del equipo, los cartuchos se deben cambiar cada 3 a 6 meses.

### **5.3.1.3 Justificación del tratamiento primario N°1**

Teniendo en cuenta que el efluente industrial está compuesto principalmente por metales pesados y agua, la osmosis inversa aparece como una buena alternativa para el tratamiento del mismo. Esta opción brinda remover todos los metales en una sola instancia, sin tener que estar dimensionando nuevas bateas y tanques de tratamiento. Además, se puede seleccionar el equipo en función del caudal de trabajo, y evitar mucho trabajo de cálculos.

También, al tener una alta eficiencia de remoción, los efluentes que salen ya tratados, pueden ser descargados directamente en el cuerpo receptor. No sería necesario que pasen por el tratamiento secundario. De esta manera, se ahorraría mucho dinero, tiempo y espacio para el tratamiento secundario. Es decir, quedaría este tratamiento únicamente para los efluentes industriales, y el de SBR para los cloacales. A menor volumen de cloacales, equipos y tanques menores, menor espacio y más barato.

Sin embargo, las grandes desventajas de este tipo de tratamiento son los excesivos costos iniciales de compra del equipo y luego del mantenimiento. La operación de la ósmosis inversa nos muestra que “de cada 100 metros cúbicos de agua cruda que ingresan a una planta de ósmosis inversa, sólo salen con la salinidad baja que se busca unos 30 metros cúbicos”, el restante se desecha con el doble de concentración salina con que entró. Esto quiere decir que hay un rechazo en la ósmosis inversa que debe ser considerado. La relación agua rechazada



vs agua utilizable puede variar de 2 a 1 (2 litros de agua que se van al desagüe, por 1 litro de agua para consumir) hasta 12 a 1, dependiendo de las características del agua a tratar y la presión de trabajo. Todo este rechazo debe ser tratado, pero como no se tiene pensado un tratamiento específico, ya que no puede ser ingresado directamente en el tratamiento secundario, debe ser tratado como residuo especial. Esto genera grandes costos de tratamiento.

### 5.3.1.4 Propuesta de tratamiento primario N°2

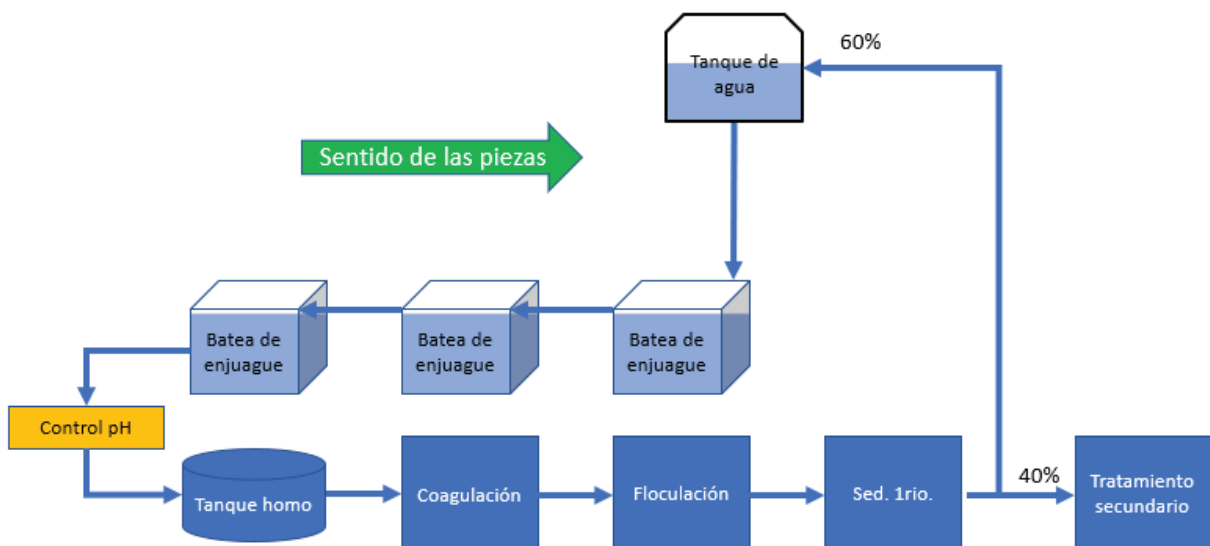


Figura 22: Esquema de la Propuesta de tratamiento primario N° 2. Fuente: Elaboración propia.

Para esta propuesta, se aplicará un tratamiento puramente físico-químico. El efluente industrial atravesará un proceso de coagulación y floculación, para así hacer precipitar a los contaminantes, y luego ser barridos en el sedimentador primario. Como el efluente de enjuague puede tener un pH muy ácido, antes de ingresar al tratamiento, pasará por un neutralizador.

Es preferible utilizar un sedimentador primario antes que un difusor de aire, ya que los procesos anteriores fomentan a que precipiten los metales pesados. Además, el gasto

energético es mucho menor en un sedimentador, que con los difusores. También, es necesario considerar que el volumen de trabajo es pequeño, y no justifica diseñar un tanque con difusores, es más sencillo barrer el fondo en tanques pequeños.

Esta propuesta consiste de un diseño propio de proyecto final integrador, y puede ser ajustable a la situación particular del equipo. Además, los costos comparados a la ósmosis inversa son sumamente inferiores.

### **Coagulación, Floculación y Sedimentador primario**

El proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos. (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)

La eliminación de estas partículas puede realizarse mediante la adición de los compuestos químicos llamados coagulantes que logran desestabilización en la partícula coloidal, las cuales están cargadas eléctricamente y presentan una doble capa eléctrica que le da estabilidad al sistema. Algunos de los coagulantes más empleados en el tratamiento de aguas son el sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico o policloruro de aluminio. (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)

Entre los agentes coagulantes más utilizados por sus características físico químicas, se encuentran la alúmina ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ), y el cloruro férrico. La primera es muy usada pues presenta algunas ventajas en cuanto a costo y disponibilidad, además de que se obtienen buenos resultados frente a aguas residuales de procesos similares a los valorados en

el presente trabajo en los rangos de pH que recomienda la literatura entre 4,5-8. (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)

Se plantea que para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones. Estas son la coagulación, la floculación y la decantación o flotación posterior. (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos. (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)

En la unidad de sedimentación primaria se pretende realizar una separación líquido-sólido, removiendo las partículas en suspensión del efluente que sean más densas que el agua y puedan ser removidas por efecto gravitacional. (Klug, 2018)

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. (Klug, 2018)

El principio de funcionamiento de un sedimentador es sencillo, en el mismo se favorecen condiciones de estanqueidad del flujo y el efluente se mueve a través del mismo

en flujo pistón, de esta manera, el peso de las partículas provoca que estas decanten hacia el fondo y se colecten en la tolva, para luego ser removidos. El efluente sobrenadante sale por la parte superior del tanque y continúa su tratamiento aguas abajo, mientras que los lodos primarios removidos son tratados y dispuestos apropiadamente. Los sedimentadores primarios pueden ser rectangulares o circulares, dependiendo de las necesidades de tratamiento. (Klug, 2018)

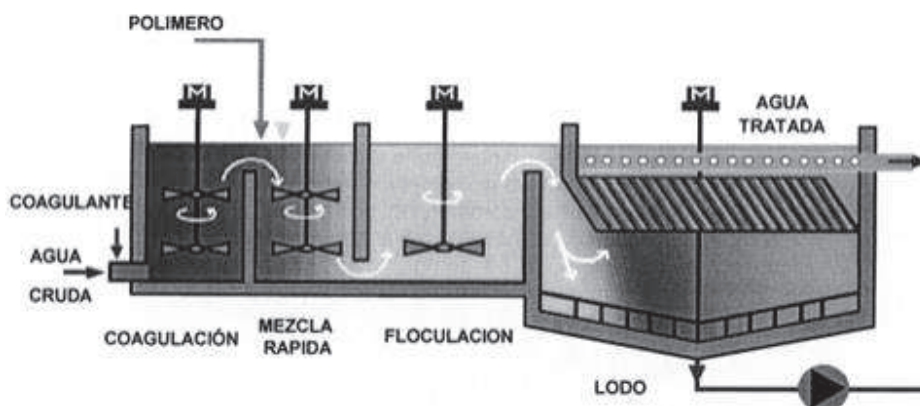


Figura 23: Esquema típico de Coagulación / Floculación / Sedimentación. Fuente: (D'Ambrosio, 2005)

En este caso, se propone instalar un sedimentador primario para remover los sólidos suspendidos que el efluente presenta. Así mismo, la remoción de estos sólidos produce un descenso en la DQO del efluente, esto se puede ver en el valor que toma la DQO medida luego de 2 horas de decantación, que es notablemente menor en el caso de todos los efluentes. Por lo tanto, el sedimentador cumple la función de remover los sólidos suspendidos sedimentables en 10 minutos y 2 horas, de manera tal de cumplir con el cuadro normativo. En la figura 24 se puede ver un esquema de un sedimentador. (Klug, 2018)

Zonas del sedimentador

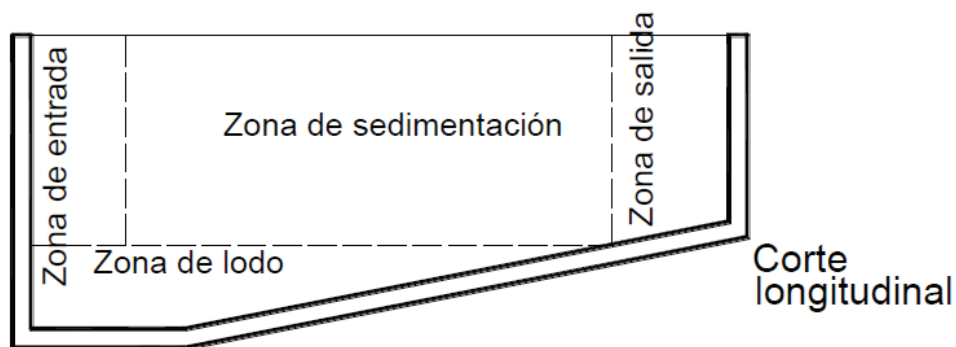


Figura 24: Zonas del sedimentador. Fuente: (Rodríguez)

- Zona de entrada: donde los sólidos en suspensión se dispersan uniformemente a través de la sección transversal del sedimentador. (Rodríguez)
- Zona de sedimentación: donde tiene lugar el proceso de sedimentación propiamente dicho. (Rodríguez)
- Zona de salida: donde el líquido clarificado se colecta a través de toda la sección transversal y se transporta hacia el conducto de salida. (Rodríguez)
- Zona de barros: donde se acumulan los sólidos separados durante el proceso. (Rodríguez)

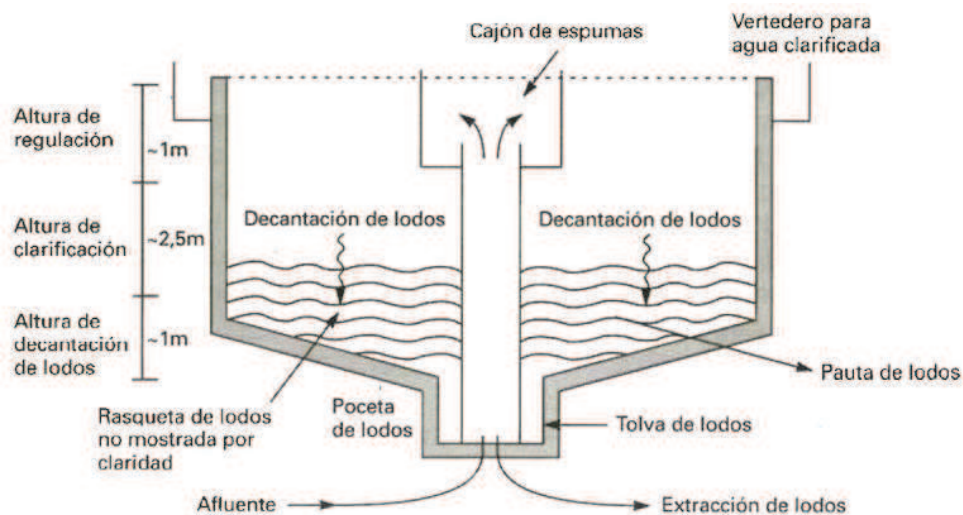


Figura 25: Esquema de un sedimentador primario. Fuente: Google Imágenes.

### **5.3.1.5 Justificación del tratamiento primario N°2**

La mayor ventaja de esta propuesta es que presenta un mayor desafío de diseño y cálculo. Las dimensiones de los tanques de coagulación, floculación y el sedimentador primario, van a ser todas calculadas en función de los caudales estimados.

También, los gastos relacionados para este caso son definitivamente menores al de la osmosis inversa. Tanto los de la inversión inicial, como los de mantenimiento. Con respecto a que conlleva mayor tratamiento de los efluentes y no puede ser descargado directamente, el espacio que ocupa este tren de tratamiento es muy pequeño, y con la optimización del consumo de agua, el volumen final de generación es muy bajo.

## **5.3.2 Efluentes cloacales**

### **5.3.2.1 Desbaste**

Lo que primero se propone instalar es un sistema de rejillas, ya que estas permiten la remoción de sólidos de gran tamaño del efluente, de manera de prevenir obstrucciones en cañerías o daño a los equipos de bombeo. Se hace pasar el efluente por un canal que cuenta con un enrejado, de manera tal que los sólidos de gran tamaño queden retenidos por los barrotes y el resto del efluente puede pasar por los espacios. Las rejillas deben ser limpiadas para evitar obstrucciones por acumulación de sólidos en los barrotes. La limpieza puede ser de forma manual o automática según la cantidad de sólidos que se acumulen. (Klug, 2018)



Figura 26: Sistema de rejas. Fuente: Google Imágenes.

No se colocará un tamiz posterior a las rejas, ya que el caudal de trabajo es muy bajo. Se recuerda que el caudal de trabajo para cloacales es de  $0.41 \text{ m}^3/\text{h}$  y no lo justifica, ya que, por lo general, los tamices trabajan con un caudal mínimo de  $11 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ver tabla tomada del proveedor Shueiz (Figura 27). Además, al ser solamente cloacales, no posee elementos sólidos de tamaño tan fino como para necesitar pasar por las rejas.

Aplicaciones	Milímetros	CAUDAL (M <sup>3</sup> /h)								
		SF 12	SF 24	SF 36	SF 48	SF 60	SF 72	SF 84	SF 96	SF 120
Municipal	1.5	34	73	109	145	182	218	255	291	363
	2.5	43	91	136	182	227	273	318	363	454
Avícola - Plumas	1.5	14	32	48	64	79	95	114	127	159
Frigoríficos	0.5	11	27	41	55	68	82	95	109	136
	1.0	12	30	43	59	75	89	104	118	148
Vegetales y Frutas	0.3	11	23	34	45	57	68	79	91	114
	0.5	18	40	59	82	102	125	148	170	204
Materia	0.8	17	41	61	82	102	123	143	164	204
	1.0	14	32	48	64	82	98	114	129	164
Minería	0.5	18	40	59	82	102	125	148	170	216
	0.8	14	32	48	64	82	98	114	129	164
Papel y Pulpa	0.4	17	34	51	68	85	102	119	136	170
	0.5	23	45	68	91	114	136	159	182	227
	1.0	15	32	48	64	79	95	111	127	159
	1.0	18	40	59	82	102	125	148	170	216

Los caudales expresados pueden variar de acuerdo a cada aplicación



Teléfono: +54 011 5533-6163 - info@shueiz.com - www.shueiz.com

Figura 27: Tabla de caudales de trabajo para un tamiz rotativo. Fuente (SHUEIZ SOLUTIONS, s.f.)

### **5.3.3 Efluentes cloacales + industriales**

#### **5.3.3.1 Tanque SBR**

Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. Se trata de un proceso que combina en un mismo tanque: Aeración/reacción y clarificación. (Aguas industriales, 2015)

La tecnología de los reactores biológicos secuenciales es una variante optimizada de la tecnología convencional de lodos activados. Se basa en el uso de un sólo reactor que opera en forma discontinua secuencial. El sistema de los reactores biológicos secuenciales SBR consta de al menos cuatro procesos cíclicos: llenado, aireación, anoxia, decantación y vaciado, tanto de efluente como de los lodos. Esta tecnología es capaz de tolerar variaciones de carga y caudal y genera como producto lodos estabilizados, siendo en ocasiones, la tecnología más apropiada para la industria. (Aguas industriales, 2015)

Cada tanque de los que conforman el sistema SBR se llena durante un período de tiempo discreto durante el cual se lo opera como un reactor en batch, y una vez obtenido el tratamiento deseado, se permite el estancamiento y clarificado del agua residual para su posterior vaciado. (Klug, 2018)

Se describe a los sistemas SBR como reactores de lodos activados que, en vez de funcionar en el espacio, usan un solo tanque y realizan las mismas operaciones, pero secuenciadas en el tiempo, ocupando así una superficie menor en teoría.

En los reactores SBR tienen lugar las siguientes etapas, esquematizadas en la Figura:



- Llenado: Esta etapa puede producirse con los aireadores encendidos o apagados, indistintamente, puesto que la dosificación de aire en esta corta etapa no tendrá relevancia para el rendimiento total de depuración del reactor. Por otro lado, será muy importante que los agitadores estén en marcha, garantizando una correcta homogeneización de la mezcla. (Farrás Gento, 2017)
- Reacción: En esta etapa tiene lugar la degradación de materia orgánica. Para que esta degradación tenga lugar es de vital importancia que los microorganismos presentes en el reactor dispongan de oxígeno suficiente para degradar la materia orgánica. Por tanto, el reactor ha de disponer de equipos de aireación y agitación, para mantener las concentraciones de oxígeno y sólidos en suspensión homogéneas en su interior. (Farrás Gento, 2017)
- Sedimentación: Una vez el influente ha sido depurado en la etapa de reacción, se deberá separar del licor de mezcla. Para ello se dispone de una etapa de sedimentación. En esta etapa se pararán los aireadores y agitadores, de modo que por diferencias de densidad el fango se depositará en el fondo y el efluente ya depurado quedará como sobrenadante en el reactor. (Farrás Gento, 2017)
- Vaciado: Producida la separación física del fango y el efluente en la sedimentación, se producirá el vaciado del agua ya depurada, quedando en el reactor el licor de mezcla decantado. En esta etapa para evitar el mezclado entre el efluente y el fango los aireadores y agitadores estarán apagados. (Farrás Gento, 2017)
- Espera o reposo: Normalmente se establece esta etapa entre el llenado y vaciado para asegurar que ambas etapas no se solapen. (Farrás Gento, 2017)

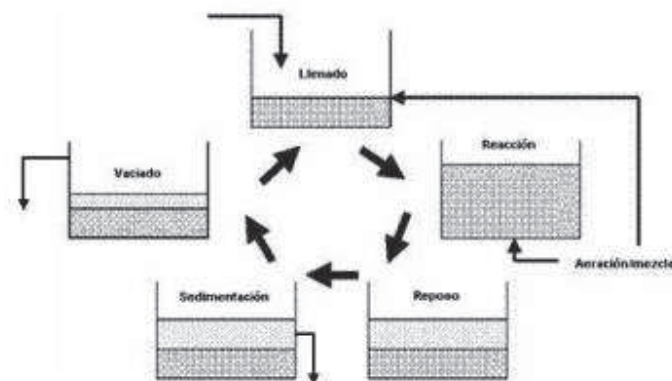


Figura 28: Etapas SBR. Fuente: (Farrás Gento, 2017).

## Comparación con el proceso convencional

Las etapas de reacción y de sedimentación son imprescindibles en la depuración de aguas, pero tradicionalmente se han llevado a cabo en equipos diferentes, habiendo un reactor y un sedimentador en las instalaciones de depuración de agua. (Farrás Gento, 2017)

En la Tabla se muestran las ventajas e inconvenientes de los SBR frente al proceso convencional de depuración:

Tabla 30: Ventajas e inconvenientes frente al tratamiento convencional. Fuente: (Farrás Gento, 2017).

SBR	Tratamiento convencional
Menor coste de inversión	Mayor coste de inversión
Buen comportamiento ante fluctuaciones de caudal	Diseñado para caudales de influente constantes
Menor espacio de instalaciones	Mayor espacio de instalaciones
Mejores rendimientos de depuración del influente	Menores rendimientos de depuración del influente
Mayor control de los parámetros de operación	Menor control de los parámetros de operación
Mejor sedimentabilidad del fango	Peor sedimentabilidad del fango
Mayor eficiencia frente a variaciones de condiciones climatológicas	Menor eficiencia frente a variaciones de condiciones climatológicas
No necesita recirculación externa al mantener la carga de sólidos	Necesita de recirculación externa para mantener constante la carga de sólidos
Requieren una mayor capacidad técnica del personal	Requieren personal menos cualificado
Elevados picos de demanda energética	Demanda energética constante
Importante el dimensionamiento inicial de la instalación	Posible lavado de reactor ante elevados picos de caudal

### 5.3.3.2 Tratamiento terciario

Luego de que el agua pasa por los sedimentadores, llega a la cámara de cloración. En esta etapa, se busca eliminar cualquier microorganismo patógeno que pueda quedar en el agua, y que no contamine el cuerpo receptor.

Se hace circular al efluente por la cámara de cloración, que tiene forma de “sig sag”. Esto permite que el tiempo de contacto entre el cloro y el efluente sea mayor, además de necesitar menor espacio, y así eliminar por completo todos los microorganismos. Una vez que efluente sale de esta cámara, está en condiciones de ser volcado al cuerpo receptor.



Figura 29: Esquema de una cámara de cloración. Fuente: Google imágenes.

### 5.3.3.3 Cámara de muestreo y medición de caudal

Existe un requisito legal donde se exige una cámara de muestreo y un medidor de caudal al final del sistema de tratamiento. Aquí es donde se tomarán las muestras del vertido líquido final que luego serán analizadas en el laboratorio.

## 6. Memoria de cálculo y desarrollo de propuesta

### 6.1 Efluentes cloacales

#### 6.1.1 Desbaste

Para realizar el dimensionamiento, es necesario conocer el caudal de efluentes cloacales. Como se mencionó en el capítulo anterior, utilizando el Metcalf como principal fuente, se estimó que el caudal de los efluentes cloacales es de  $6.6 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Dado un caudal de trabajo significativamente bajo, aún seleccionando un ancho de canal mínimo de 80 cm, el tirante de agua será escaso. No es eficiente, por ende, el dimensionamiento de las rejillas y el canal de entrada, cuando la circulación de agua será ínfima.

Es por eso que se decidió volcar el efluente directamente en el tanque de homogeneización, pasando por una canasta compuesta de metal desplegable que funcione como desbaste. Esta es una solución muy sencilla y altamente efectiva para la situación con la que se está trabajando.

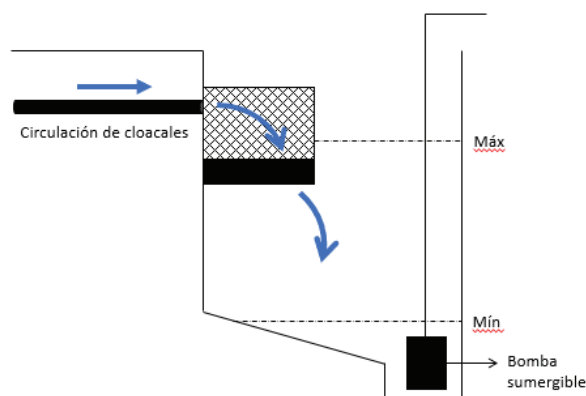


Figura 30: Paso de los efluentes cloacales por el sistema de desbaste e ingreso al tanque de homogeneización. Fuente:  
Elaboración propia.

La canasta por donde pasará el efluente será de 40 x 40 cm, y 50 cm de alto y estará hecha de metal desplegable pesado. El motivo de dichas características radica en la necesidad de sostener el peso de cualquier objeto atrapado en la canasta. Es importante remarcar que la canasta contará con una manija que permita removerla desde la superficie, y así poder limpiarla manualmente. Considerando que no es un producto costoso, se comprarán dos hojas de metal desplegable para poder asegurar la disponibilidad de una canasta de reemplazo, evitando que ingresen objetos grandes al tanque de homogeneización y dañen la bomba.

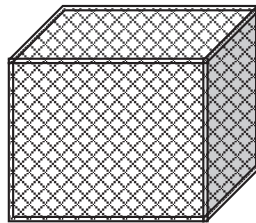


Figura 31: Esquema de la canasta diseñada para que funcione como desbaste. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las medidas para determinar el metal desplegable correcto, donde:

- H: Ancho del nervio.
- E: Espesor de la chapa.
- d: Diagonal menor.
- D: Diagonal mayor.

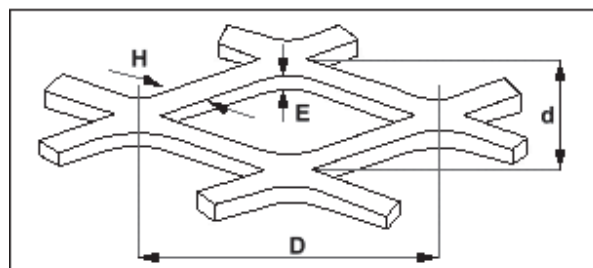


Figura 32: Esquema de las medidas del metal desplegable. Fuente: (Hierros Torrent S.A., s.f.).

Para este trabajo, se seleccionó la malla 200 – 12 – 20 de la empresa Hierros Torrent S.A. Debajo se encuentran las descripciones de la malla.

- Diagonal mayor: 20 mm
- Diagonal menor: 12 mm
- Espesor: 1.25 mm
- Hoja: Ancho: 1220 mm / Largo: 2440 mm
- Nervio: 2 mm
- Peso: 3.80 kg/m<sup>2</sup>
- Espesor total: 3.5 mm
- Material: Acero Calidad Comercial – SAE 1010

### **6.1.2 Tanque de homogeneización**

El tanque de homogeneización coleccionará el agua que pase a través de la canasta descrita anteriormente. El mismo tendrá forma de prisma rectangular, con la particularidad de que su base contará con cierta pendiente hacia un lateral para que el agua se acumule y así evitar que llegue al nivel mínimo rápidamente. Debido a que ésta pendiente es muy sutil y por lo tanto insignificante a la hora de realizarlos cálculos, se lo considerará un prisma rectangular estándar para dicho propósito.

Luego, teniendo en cuenta que la desembocadura de efluentes cloacales se encuentra relativamente alejada del tren de tratamiento, será necesario excavar un canal y colocar una cañería subterránea para unir estos dos puntos. Esta distancia es de aproximadamente 35 metros. Mínimamente, para un buen funcionamiento, debe existir una pendiente de un 1%. Por lo tanto, se calcula el punto más alto, con respecto al nivel del suelo, en la parte superior

del tanque. Cabe recordar que la desembocadura actual de los efluentes cloacales se encuentra a 0.6 m del nivel 0.

$$Pendiente = \frac{distancia\ vertical}{distancia\ horizontal} \times 100$$

$$distancia\ vertical = \frac{Pendiente \times distancia\ horizontal}{100} = \frac{1 \times 35\ m}{100} = 0.35\ m$$

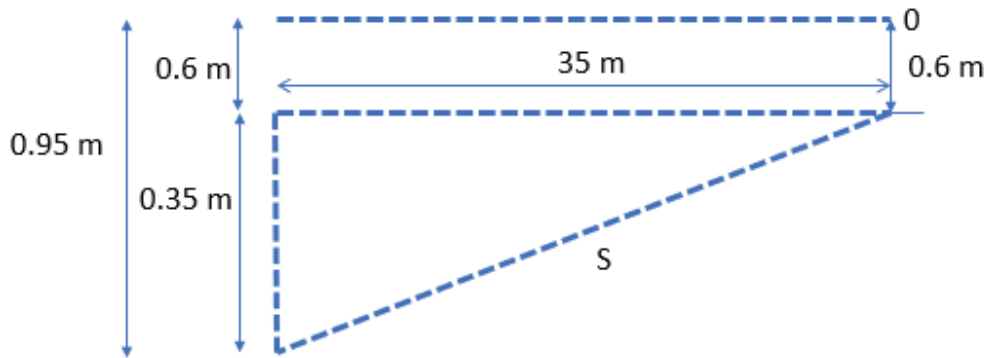


Figura 33: Altura que debe respetar el tanque de homogeneización. Fuente: Elaboración propia.

Para el tanque de homogeneización se colocará una bomba sumergible de tamaño pequeño, en concordancia con la magnitud de los caudales de trabajo. El objetivo de la bomba es impulsar el efluente a una tasa constante. La gran mayoría de las bombas sumergibles cuentan con un flotador. Cuando el flotador está de forma vertical o con una inclinación hacia arriba, se abre el circuito evitando que el agua circule. Si el flotador está en posición horizontal o con una inclinación hacia abajo se encenderá la bomba para permitir el ingreso del agua y que así se llene el depósito en su totalidad.

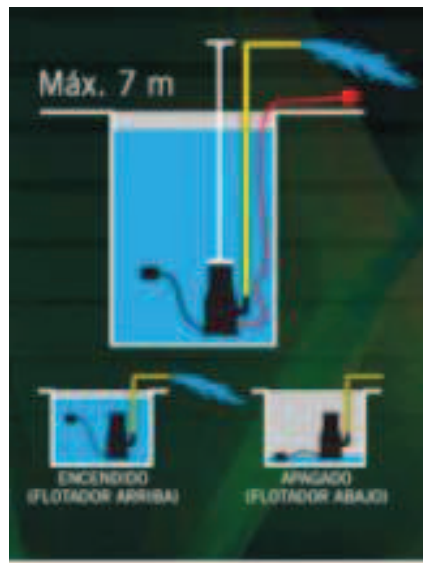


Figura 34: Funcionamiento del flotador en una bomba sumergible. Fuente: Ficha técnica de Gladiator.

La bomba empleada será la de marca Gladiator, modelo BS935. Se seleccionó esta bomba por su tamaño y caudal reducido. Instalar una bomba más grande representaría una mayor inversión innecesaria con respecto a las necesidades anteriormente descritas. La ficha técnica de la bomba es la siguiente:

- Marca: Gladiator.
- Modelo: BS935.
- Potencia: 550 W
- Boca de Descarga: 1 1/2" BSP.
- Diámetro Rosca 1" y 1-1/2"
- Caudal máximo: 130 l/min
- Altura máxima: 7 m
- Temperatura ambiente máxima: 40°C.
- Temperatura de agua máxima: 35°C
- Peso: 4.5 kg.



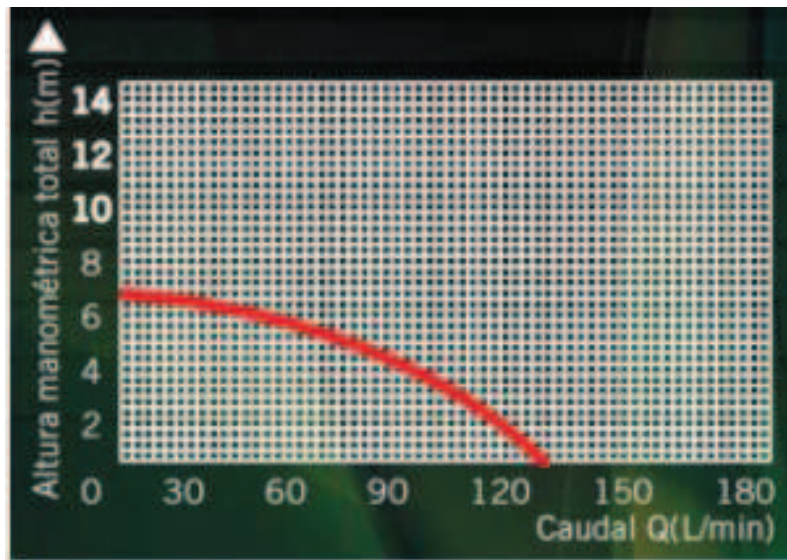


Figura 35: Datos característicos de la bomba sumergible Gladiator, modelo BS935. Fuente: Ficha técnica de Gladiator.

En la figura 35, se observa la curva de trabajo de la bomba en función de la altura manométrica. La altura manométrica no es más que la suma de la altura geométrica más las pérdidas lineales de la instalación más las pérdidas locales de la instalación. En el esquema debajo, se muestran las consideraciones necesarias para el cálculo de la altura manométrica. Una vez obtenida, podremos conocer nuestro caudal de trabajo.

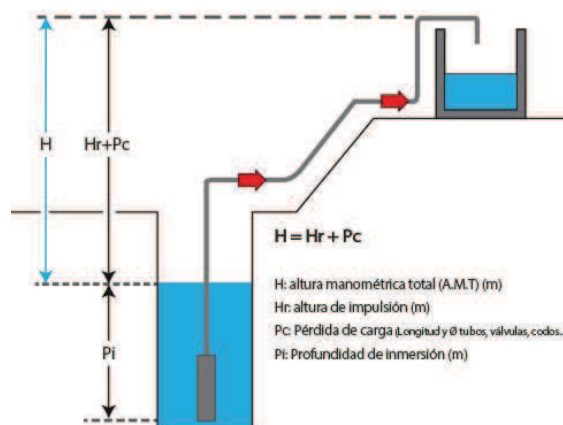


Figura 36: Esquema de una bomba sumergible y la altura manométrica. Fuente: Google Imágenes.

En este escenario, en donde el tanque SBR y el de homogeneización están a una distancia mínima, las únicas pérdidas por fricción serán generadas por la cañería que conecta la bomba con la entrada al tanque. Dada la corta distancia y la mínima cantidad de accesorios, esta pérdida por fricción es insignificante.

La bomba estará dos metros por debajo de la superficie, ya que el tanque de homogeneización es de un metro de alto y la parte superior del mismo estará a un metro de la superficie. Además, se considera la altura del SBR, que será de no más de 2 metros por encima de la superficie. Efectuando la sumatoria, la altura de impulsión será de 4 metros. También se estiman unos 0.5 metros relacionados a las fricciones en la cañería, resultando en un total de 4.5 metros. Con este valor, debemos dirigirnos a la tabla de la curva de trabajo y observar el caudal correspondiente. Este es de 80 litros/min.

A su vez, se determinó que cada 4 horas la bomba no estará en funcionamiento, dando tiempo a que se acumule suficiente agua en el tanque. Este volumen acumulado será de aproximadamente  $1,65 \text{ m}^3$ . Luego, se agrega un 20% como factor de seguridad ante cualquier pico de caudal que pueda generar rebalse. Una vez pasadas las 4 horas, se prenderá la bomba durante 20 minutos, para así vaciar la totalidad del agua acumulada.

Tabla 31: Dimensionamiento del tanque de homogeneización para efluentes cloacales. Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Valor	Unidad
Q entrada	6.6	m <sup>3</sup> /día
Lapso entre inicio y parada de bomba	4	horas
Volumen acumulado entre inicio y parada de bomba	1650	litros
Tiempo de funcionamiento de la bomba para vaciar el acumulado	20.625	min
Volumen del tanque de homogeneización	1.65	m <sup>3</sup>
Volumen real del tanque de homogeneización	1.98	m <sup>3</sup>
Altura tanque	1	m
Base tanque	1.98	m <sup>2</sup>
Diámetro (m)	1.59	m
Radio (m)	0.794	m

En la cañería que va desde la bomba sumergible hasta la entrada al tanque de SBR, se colocará un Dosificador Automático Ácido-Base modelo Ph-Cp, Marca: Vital Water. Puede dosificar ácidos fuertes (para bajar el pH, como ácido clorhídrico) o bases fuertes (para subir el pH, como hidróxido de sodio).

La neutralización del efluente considera la dosificación de agentes neutralizantes (soda cáustica y ácido sulfúrico), con el objeto de ajustar el pH al nivel óptimo permitiendo de este modo la posterior descarga al sistema de tratamiento biológico adoptado.

El equipo cuenta con un electrodo de medición de pH en línea y muestra el valor registrado en el display del equipo. Este trabajará de forma automática, que necesitará únicamente de la reposición de las soluciones ácidas y/o básicas de las reservas. El dosificador está aferrado a la cañería y amurado contra la pared, por lo tanto, no necesita de espacio adicional.

Dado un efluente con pH cercano a 7, no se espera un consumo de neutralizantes elevado.

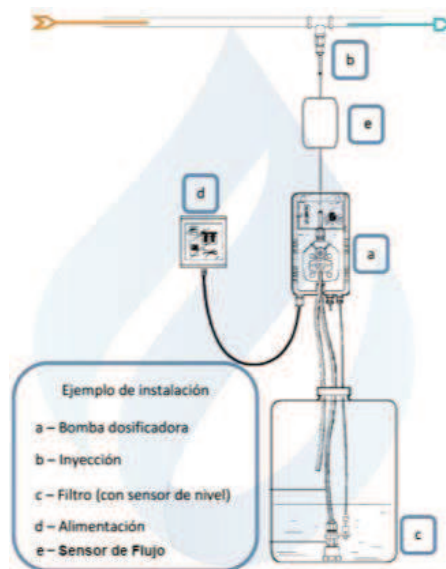


Figura 37: Dosificador Automático de Ácido-Base modelo Ph-Cp, Marca Vital Water. Fuente: Google imágenes

Una vez establecido el caudal y que la cañería sea circular, se selecciona una velocidad en la cañería de 2.5 m/seg. De esta manera, el área circular de la cañería es de  $5.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ . Luego, se calcula el diámetro interior de la cañería, que es de 26 mm. Esta cañería será colocada desde la impulsión por parte de la bomba hasta el ingreso en el tanque SBR. La longitud de la misma es de 2.5 m, y dentro de este tramo se contempla un codo de 90°.

En la mayoría de los casos, se utiliza cierto método para realizar un agitado en todo el líquido y así conseguir una mezcla homogénea, además de que no haya precipitaciones. Por lo general se utilizan difusores de aire o agitadores para esta tarea, pero en este caso no serán necesarios ya que el agua pasa por un salto desde la boca del caño de cloacales hasta el nivel de agua en el tanque. Además, como existe una continua alimentación, esto genera que el agua se revuelva constantemente.

## **6.2 Efluentes industriales**

### **6.2.1 Propuesta 1: Ósmosis inversa**

El equipo que se comprará es el de la empresa Hidricom modelo OI 3000, que ofrece un caudal de trabajo de 6000 litros por hora. Ingresan 6000 litros de agua contaminada y produce 3000 litros por hora de agua pura. El equipo está compuesto por tubo de PVC, con un control automático. Consta de un proceso interno de filtro de carbono activo más un filtro de arena, suavizante, y membrana. La recuperación de agua es de un 60% a 75%. La potencia del equipo es de 2.2 kW.

El proceso que ocurre dentro del equipo consta de 2 etapas: la primera de 5 membranas y la siguiente de 3, dando un total de 8 membranas de alta presión de 8". Además, se tuvieron en cuenta la compra de los pre-filtros para sedimentos, caudalímetros, manómetros, monitor de conductividad, bombas, y conexiones.

Los siguientes componentes no se encuentran incluidos dentro del valor: la mano de obra, el costo de instalación, la capacitación de los operarios, modificaciones espaciales y agregados como drenaje, compuestos eléctricos externos, etc.



Figura 38: Equipo de osmosis inversa marca Hidricom modelo OI 3000. Fuente: (Alibaba, 2021)



Figura 39: Equipo de osmosis inversa marca Hidricom modelo OI 3000. Fuente: (Alibaba, 2021)

## **6.2.2 Propuesta 2: Coagulación, Floculación y Sedimentador primario.**

### **6.2.2.1 Regulación de pH**

Previo al ingreso al tanque de homogeneización, se colocará un nuevo dosificador automático de Ácido-Base modelo Ph-Cp, para regular el pH a la entrada de todo el tren de tratamiento. Cabe destacar que la acidez de este efluente será mucho mayor que para el efluente cloacal, y por lo tanto merece de un mayor control.

Se colocará un Dosificador Automático de Ácido-Base modelo Ph-Cp, marca Vital Water. Este es un equipo ideal para el control automático de pH en piscinas, estanques y tanques de almacenamiento de agua.

Puede dosificar ácidos fuertes (para bajar el pH, como ácido clorhídrico) o bases fuertes (para subir el pH, como hidróxido de sodio). El equipo cuenta con un electrodo de medición de pH en línea y muestra el valor registrado en el display del equipo. Se programa el valor deseado de pH en el equipo y el mismo dosifica el producto automáticamente hasta llegar a dicho valor.

- Uso recomendado: regulación de pH con instrumento de medición incorporado.
- Dosificación proporcional a: la medición de pH incorporada.
- Caudal máximo de dosificación: 7 lts/hr de producto
- Presión máxima de dosificación: hasta 12 bares.
- Accesorios: 1 electrodo de medición de pH (incluido), porta electrodo para cañería, porta electrodo para tanque, control de nivel de producto a dosificar, 1 tanque rotomoldeado con tapa de 20 litros para productos químicos.

### 6.2.2.2 Tanque de homogeneización

Es necesario remarcar que no habrá una etapa de desbaste ya que no hay presencia de sólidos en este tipo de efluentes. Se está trabajando con material exclusivamente líquido, que no está expuesto a la intemperie, y por lo tanto no hay riesgo de que ingrese un cuerpo extraño.

Para el dimensionamiento del tanque de homogeneización, se utiliza el mismo modelo de bomba que para los cloacales. Sin embargo, la altura manométrica será distinta, y por lo tanto el caudal de trabajo también. La altura aproximada será de 3.5 m y se calculó de la siguiente manera:

Nuevamente se considera que la cañería de efluente industrial actual está a 0.6 metros de la superficie. Para llevar la descarga del cloacal al ingreso al tren de tratamiento, se deberá colocar una cañería de 73 m. De esta manera, la boca de descarga de cloacales ahora estará a 1.33 m por debajo de la superficie.

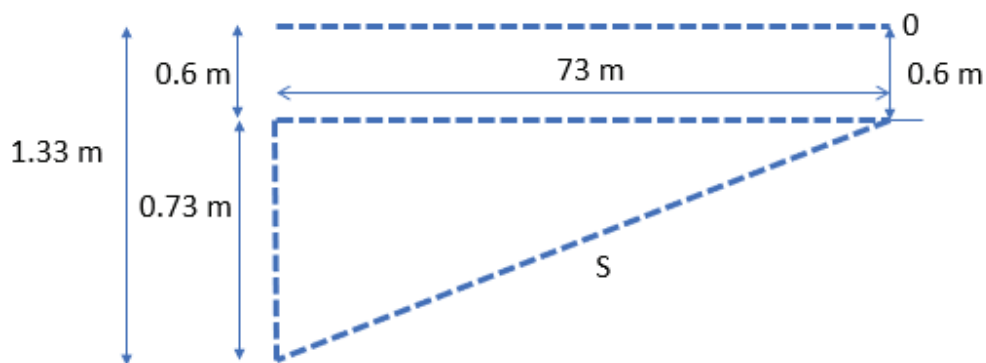


Figura 40: Altura que debe respetar el tanque de homogeneización. Fuente: Elaboración propia.

Junto a esta boca de desagote se encontrará el tanque de homogeneización, que se estableció de 1 metro de alto. Inmediatamente después, proseguirá la etapa de floculación y luego el sedimentador primario. De esta manera, se deduce que existen 2,3 metros desde la



bomba sumergible hasta la superficie del suelo y, estimando que el sedimentador tendrá una altura de no más de 2 metros, el tanque de floculación podrá estar a 2.6 metros y así trasladarse por gravedad. De esta manera, la altura manométrica será de 5 metros, y según la curva de funcionamiento de la bomba, el caudal será de 100 litros/minuto.

El método de cálculo es el mismo que para los cloacales, será un tanque de homogeneización de forma circular. Sin embargo, al considerarse de casi el doble el volumen de efluente industrial con respecto al cloacal, el tiempo en el que no esté funcionando la bomba será mucho menor. Basándose siempre en el principio de procurar que el tanque sea lo más pequeño posible, el tiempo de no funcionamiento de la bomba será de 1 hora. En este período de tiempo, el tanque acumulará alrededor de 5.5 m<sup>3</sup>. Contemplando el factor de seguridad, el volumen total del tanque de homogeneización será de 6.5 m<sup>3</sup>.

Nuevamente, al tener una entrada y salida constante de líquido, no será necesario colocar un sistema de aireación artificial para la homogeneización del mismo.

Tabla 32: Dimensionamiento del tanque de homogeneización para efluentes industriales. Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Valor	Unidad
Q entrada	86.4	m <sup>3</sup> /día
	86400	litros/día
Lapso entre inicio y parada de bomba	1	horas
Volumen acumulado entre inicio y parada de bomba	5400	litros
Tiempo de funcionamiento de la bomba para vaciar el acumulado	54	min
Volumen del tanque de homogeneización	5.4	m <sup>3</sup>
Volumen real del tanque de homogeneización	6.48	m <sup>3</sup>
Altura tanque	1	m
Base tanque	6.48	m <sup>2</sup>
Díametro (m)	2.87	m
Radio (m)	1.437	m

### 6.2.2.3 Coagulación

Las mezclas en las etapas de coagulación y floculación pueden ser hidráulica, mecánica o neumática. Los agitadores mecánicos tipo turbina se clasifican por el tipo de flujo producido:

- De flujo axial, que mueve el líquido paralelamente al eje del agitador.
- De flujo radial, cuando el líquido se mueve perpendicularmente al eje.

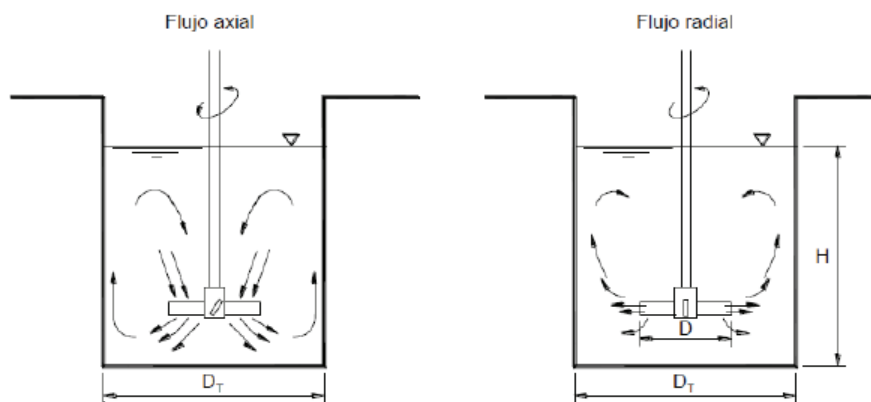


Figura 41: Esquema de agitadores mecánicos: Fuente: (Rodríguez).

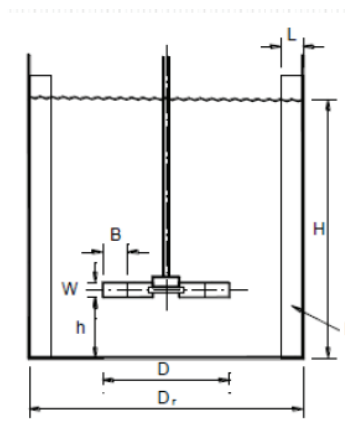


Figura 42: Corte de un coagulador / floculador: Fuente: (Rodríguez).

Con respecto a los parámetros de diseño:

- Coagulación: Turbina de tipo 1, de flujo radial con seis láminas cortas en un disco, es la que presenta el mayor número de potencia ( $K = 5$ ) y de este modo la mayor potencia disipada. Por este motivo es la más indicada para la mezcla rápida que comprende gradientes de velocidad elevados. (Rodríguez)
  - Tiempo de mezcla:  $< 7$  s
  - Gradientes de velocidad: 300 a 1200 s<sup>-1</sup>.

Luego, se toma como referencia de material bibliográfico de la materia Procesos

Industriales, la siguiente tabla:

Tabla 33: Relaciones geométricas entre la cámara y la turbina. Fuente: (Rodríguez).

Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	Turbina (mm)			Potencia del motor (HP)
	D	B	W	
1 a 2	370	92.5	74	½ a 2
1,5 a 3,5	430	107.5	86	1 a 4
2,5 a 5,5	500	120	100	1.5 a 7.5
4 a 9	600	150	120	2 a 15
6,5 a 15	700	175	140	3 a 20

Una vez dimensionado el tanque de coagulación, se deduce que el tamaño del mismo será demasiado pequeño para que se lleve a cabo una agitación tan fuerte como la que se necesita. A través de la tabla a continuación, se observa que el volumen final del tanque de coagulación sería de 0.0117 m<sup>3</sup>, con lados de 25 x 25 cm. Esto resulta excesivamente pequeño, y agregar un agitador generaría múltiples salpicaduras.

Tabla 34: Dimensionamiento coagulación standard. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Valor	Unidad
Volumen	0.0117	m <sup>3</sup>
D	9.1	cm
Dt	24.58	cm
H	24.58	cm
h	6.83	cm
B	2.28	cm
W	1.82	cm
l	2.46	cm

Es por eso que se dispone instalar un mezclador en línea: consiste en dispositivos insertados en la tubería o canal donde pasa el agua residual. Las principales ventajas de estos tipos de mezcladores son que proporciona una mezcla óptima e instantánea con pocos cortocircuitos y reduce los costos de instalación. Se clasifican según sus características en inyectores, difusores y estáticos. Los que conciernen a este trabajo son los estáticos. Están constituidos por barras instaladas dentro de la tubería, las cuales producen una gran intensidad de turbulencia en una longitud deseada, originando una mezcla eficiente con poca pérdida de energía, bajo costos de inversión y mantenimiento.



Figura 43: Representación de un coagulador estático. Fuente: Google imágenes.

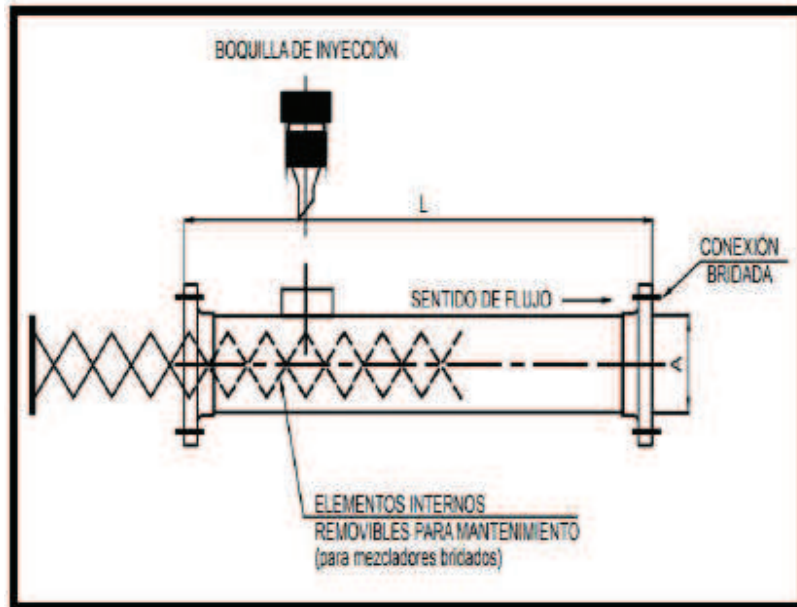


Figura 44: Partes de un mezclador estático según el catálogo NOVATEC.

El mezclador estático seleccionado es el de marca Apure, modelo SK-68615. A continuación, se mencionan las características principales del instrumento.

- Material: Plástico de PVC/PP
- Flujo de agua: 0,2-120 m<sup>3</sup>/h
- Rango de velocidad del husillo (r. p. A m): 1 - 60 r.p.m
- Max de carga volumen (L): 1 L
- Potencia: 2 kW



Figura 45: Mezclador estático marca Apure, modelo SK-68615.

Se propone la instalación de un dosificador volumétrico en línea en el sistema de conducción para la inyección del coagulante. El equipo dosificador estará amurado contra la pared, y contará con dos mangueras: una conectada al reservorio del coagulante, y la otra al punto de inyección (véase la figura 44). Éste estará en el punto previo al comienzo del agitador estático. El esquema debajo tiene como único fin facilitar la visualización de la colocación del mismo. Es la misma bomba dosificadora que se utiliza para el cloro.

Se seleccionó la bomba dosificadora de marca Aquatron, modelo F1-MA. Las características eléctricas del mismo son las siguientes

- Modelos de 220 V: 170 / 260 V
- Modelos de 110 V: 85 / 130 V
- Consumo medio: 120 W
- Frecuencia: 50/60 Hz



Figura 46: Dosificador de cloro. Fuente: (Acquatron).

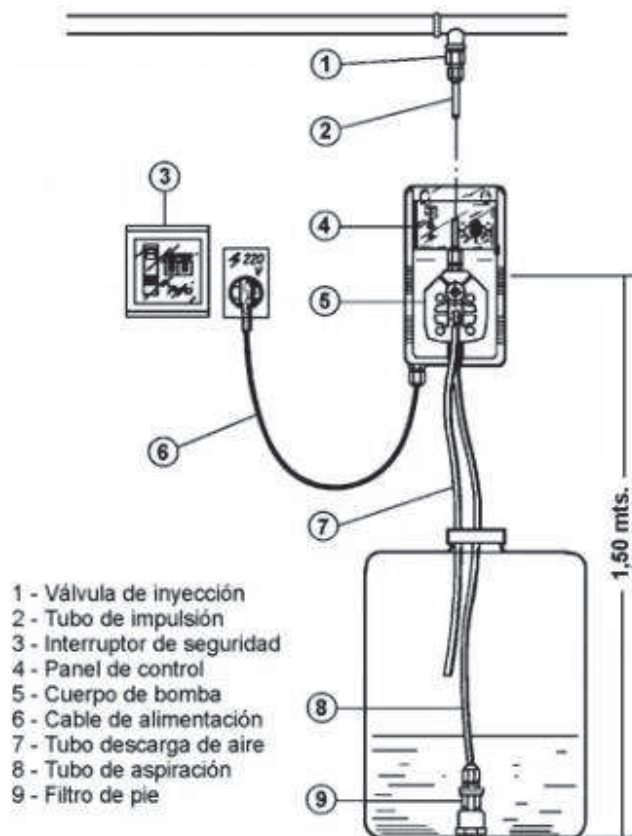


Figura 47: Conexión de la bomba dosificadora de coagulante en la cañería. Fuente: Google Imágenes.

### 6.2.2.4 Floculación

Con respecto a los parámetros de diseño

- Floculación: Turbina de flujo axial, tipo 4, con láminas conectadas al eje e inclinadas a 45°, con una distribución uniforme de gradientes de velocidad sobre todo en el tanque (K=1). Formación de agregados de partículas, denominados flóculos, en condiciones de mezcla lenta y mayor tiempo de contacto (20 a 60 minutos.) (Rodríguez)
  - Tiempo de mezcla: 20-30 min
  - Gradientes de velocidad: entre 70 y 10 s-1.

Para esta unidad se diseñó un tanque cilíndrico con sistema de mezcla mecánica mediante agitadores tipo turbina.

Tabla 35: Caracterización de la etapa de floculación. Fuente: Elaboración propia.

Datos		Unidad
Tipo de flujo	axial	N/A
Tipo de turbina	4	N/A
Tiempo de mezcla	1200	seg
Gradiente de velocidad	40	1/seg

#### 6.2.2.4.1 Dimensionamiento de la cámara

El efluente ingresará por la parte inferior de la unidad por impulsión, ya que la unidad anterior estará por debajo del suelo y el coagulante se inyectará directamente en la cañería. Se adopta un tiempo de permanencia y reemplazándolo junto con el caudal de diseño, se obtiene el volumen de esta unidad.

$$V = Q * Tp = 6 \frac{m^3}{h} * 20 \text{ min} * \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 2 m^3$$

Se busca la proporcionalidad en la forma del reactor, adoptando la profundidad del mismo. Se adopta una altura de 1.6 m. Una vez establecido este valor, utilizando todas las



relaciones de dimensiones propuestas en la tabla **Relaciones geométricas entre la cámara y la turbina**, se dimensiona el tanque.

Tabla 36: Dimensionamiento del tanque de floculación. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Valor	Unidad
Volumen	2	m <sup>3</sup>
H	160	cm
D	60	cm
Dt	149	cm
h	54	cm
W	8	cm
l	13	cm

A la salida, el efluente se recolecta por la parte superior de la unidad y se conduce por gravedad a través de una cañería de PVC hasta la próxima unidad de tratamiento.

#### 6.2.2.4.2 Sistema de mezcla

Se propone la instalación de dosificadores volumétricos en la línea de entrada del efluente a la unidad de floculación. En las cámaras con sistemas de agitación tipo turbina, el ingreso del efluente debe realizarse por debajo del impulsor. (Becker, 2018)

El modelo que se utilizará como tanque de floculación es el de la empresa Waterplast, código T2500, que tiene una capacidad de 2500 litros. El motivo por el cual se selecciona este tamaño y no uno de 2000 litros, radica en la necesidad de contar con un margen de error ante cualquier exabrupto en el caudal o mayor período de residencia del líquido. El tanque es de 145 cm de diámetro por 189 cm de altura.

Las turbinas utilizadas como sistema de agitación mecánico pueden ser de flujo axial o radial. En ambos casos, es necesario eliminar las condiciones de vórtice que se puedan generar dentro de un reactor cilíndrico, producto del movimiento circular de la turbina, debido a que provoca una disminución en la eficiencia de mezclado. Uno de los métodos

comúnmente utilizados para reducir los vórtices del fluido consiste en instalar 4 deflectores verticales en las paredes del reactor, que cumplen con la función de romper el movimiento circular que imponen las paletas de la turbina generando mayor turbulencia. (Becker, 2018)

Las láminas de esta turbina están conectadas al eje e inclinadas a 45°. El número de potencia K es de 0,75 para este tipo de turbina (ENOHSa) y han demostrado ser satisfactorias en el proceso de floculación. (Becker, 2018) El agitador seleccionado es el de marca Ewater, modelo 40L-1000L.



Figura 48: Turbina tipo 4 de flujo axial con cuatro láminas inclinadas a 45°. Fuente: (Metcalf & Eddy INC, 1995)

#### 6.2.2.4.3 Velocidad de mezcla

La potencia disipada también se puede expresar en función de la geometría del tanque de mezcla, del impulsor y de las características del fluido.

Para calcular la potencia disipada en régimen turbulento, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = K * \delta * n^3 * D^5$$

donde:

- P = potencia disipada (W)
- K = número de potencia (adimensional)

- $\delta$  = densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ )
- $n$  = número de rotaciones por segundo (r.p.s.)
- $D$  = diámetro de la turbina (m)

Tabla 37: Potencia disipada en el tanque de floculación. Fuente: Elaboración propia.

Descripción (floculación)	Valor	Unidad
Potencia disipada (P)	3.2	W
Número de potencia (K)	0.75	N/A
Densidad del agua ( $\delta$ )	998.95	$\text{Kg/m}^3$
Número de rotaciones por segundo (n)	6.78	r.p.s.
Diámetro de la turbina (D)	0.6	m
Viscosidad del fluido ( $\mu$ )	0.001	$\text{Kg/m}^*\text{seg}$

### 6.2.2.5 Sedimentador primario

Los clarificadores circulares usualmente tienen desempeños óptimos. Para esta unidad se planteó un sedimentador cilíndrico con un sistema de alimentación central, donde el afluente ingresa por el centro a través de un tubo y el efluente se recoge de los bordes superiores de la unidad, mientras que el lodo se retira del centro en el fondo del tanque (Becker, 2018)

#### 6.2.2.5.1 Dimensionamiento del sedimentador

El tiempo que tarda una partícula en sedimentar viene dado por el cociente entre la profundidad útil de sedimentación y la velocidad de sedimentación según: (Becker, 2018)

$$T_s = \frac{H_{us}}{U_s}$$

donde:

- $T_s$ : Tiempo de sedimentación (seg)
- $H_{us}$ : Profundidad útil de sedimentación (m)
- $U_s$ : Velocidad de sedimentación (m/seg)

Por definición, el tiempo en el cual la partícula que se mueve a la velocidad crítica llega al fondo es igual al tiempo teórico de permanencia:  $T_p$  (Rodríguez)

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

donde:

- V: volumen del decantador ( $m^3$ )
- Q: caudal de diseño ( $m^3/h$ )

La carga superficial es igual a la velocidad crítica mínima de sedimentación, que se espera que en promedio retenga un cierto porcentaje (70 – 98%) de las partículas en suspensión. (Rodríguez)

Como el volumen es igual al área superficial “A”, por la profundidad “h” del decantador, se deduce que:

$$T_p = \frac{A * h}{Q} = \frac{h}{\left(\frac{Q}{A}\right)} = \frac{h}{vc} \longrightarrow \text{Carga superficial}$$

$$vc = \frac{h}{T_p} = \frac{h}{\frac{(A_s * h)}{Q}} = \frac{Q}{A_s}$$

Entonces, la eficiencia de remoción es en función del área superficial del tanque, e independiente de la profundidad y tiempo de detención.

La carga superficial depende:

- calidad del agua cruda
- peso y grado de hidratación del floc
- forma y tipo de sedimentador adoptado
- tipo de coagulante utilizado

- grado de eficiencia que se desee (Rodriguez)

Para definir el diseño considero la carga superficial elegida y el tiempo de permanencia definirá la profundidad.

Tabla 38: Valores típicos para el dimensionamiento de tanques de sedimentación primaria. Fuente: (Metcalf & Eddy INC, 1995)

Sedimentador primario circular	Intervalo	Valor típico	Unidad
Tiempo de detención	1.5 – 2.5	2	h
Carga superficial	40 – 60	55	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día
Profundidad	3 – 4.9	4.3	m
Diámetro	3 – 60	12 a 45	m
Pendiente del fondo	1/16 – 1/6	1/12	mm/mm

Se adopta entonces una carga superficial y un tiempo de detención para la depuración final del efluente. Se establece que la carga superficial sea de 55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día, que representa a la velocidad de sedimentación. Para este valor de carga superficial, se recomienda que el tiempo de permanencia sea entre 1.5 a 2.5 horas. Finalmente, el valor adoptado de tiempo de permanencia es de 2 horas.

Por lo tanto, el volumen del sedimentador se consigue a través de la siguiente ecuación:

$$V = Q * T_p = 6 \frac{m^3}{hora} * 2 horas = 12 m^3$$

La carga superficial adoptada corresponde a una velocidad de sedimentación de 0.06 cm/seg. Reemplazando junto con el tiempo de sedimentación en la ecuación,

$$H_{us} = T_s * U_s = 7200 seg * 0.06 \frac{cm}{seg} = 4,32 m$$

Con la profundidad y el volumen, se puede obtener el área superficial del sedimentador y el diámetro de diseño de esta unidad.

$$A_{sed} = \frac{V}{H_{us}} = \frac{12 \text{ m}^3}{4.32 \text{ m}} = 2.78 \text{ m}^2$$

$$D_{sed} = 1.88 \text{ m}$$

Tabla 39: Dimensiones del sedimentador primario. Fuente: Elaboración propia.

Datos	Valor	Unidad
Carga superficial	55	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día
Caudal de diseño	6	m <sup>3</sup> /hora
Volumen sedimentador	12	m <sup>3</sup>
Tiempo de permanencia	2	horas
velocidad de sedimentación	0.0006	m/seg
Profundidad útil de sedimentación	4.32	m
Área del sedimentador	2.78	m <sup>2</sup>
Diámetro	1.88	m
Perímetro	5.91	m
Radio	0.94	m

Se decide construir el sedimentador de forma cilíndrica, adoptando una inclinación de la parte cónica de 15° con barredor y un radio de salida inferior de 30 cm. Se calcula entonces el volumen de la parte cónica y se lo suma al volumen obtenido anteriormente para conseguir el volumen total de los sedimentadores. También, se calcula la altura total del sedimentador como la suma de la parte cónica más la cilíndrica.

### Zona de entrada

El propósito de las estructuras de entrada es:

- Distribuir el afluente tan uniformemente como sea posible en toda el área transversal del decantador.
- Evitar chorros que puedan provocar corrientes cinéticas en la masa líquida.
- Disipar la energía que trae el agua.
- Evitar altas velocidades que puedan disipar los barros del fondo.

Esta zona debe cumplir con las condiciones hidráulicas de diseño de manera que la unidad se asemeje a un sedimentador ideal y que permita la distribución uniforme del agua

que ingresa. La incorporación de deflectores internos garantizara una disipación tangencial de la energía en la zona de alimentación. Este sistema de disipación de energía debe colocarse a más de 0,47 metros de distancia de la zona de salida del efluente para minimizar el arrastre de sólidos y permitir que éstos vuelvan a sedimentarse. (Becker, 2018)

La relación típica entre el diámetro del tubo de entrada y el diámetro del tanque es de 0,2 y la relación típica entre la profundidad del sedimentador y la altura de la pantalla circular desde el borde superior del sedimentador es de 0,4. (Becker, 2018)

Con los datos del diámetro y profundidad del tanque calculados previamente, se obtiene:

- Dt: Diámetro tubo de entrada = 0,38 m
- Hp: Altura pantalla cilíndrica = 1,72 m

La pantalla difusora cuenta con orificios, cuya función es proveer una transición suave entre la velocidad relativamente alta de la tubería afluente y la velocidad baja uniforme deseable en la zona de asentamiento. Para el diseño de los orificios, primero se asume una velocidad de paso y luego se calcula el área total ocupada por los mismos con la siguiente ecuación. La velocidad de paso no debe superar los 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación. (Becker, 2018)

$$A_0 = \frac{Q}{v_0} = \frac{6 \frac{m^3}{h}}{0.15 \frac{m}{seg}} = 0.01111m^2$$

Donde:

- $A_0$ : Área total de los orificios
- Q: Caudal de diseño, 6 m<sup>3</sup>/h,
- $v_0$ : velocidad de paso por los orificios, (adoptado, 0.15 m/seg)

Se adopta un valor para el diámetro de cada orificio, determinándose el área de cada uno y el número total de orificios según:

$$n = \frac{A_0}{a_0} = \frac{0.0111 \text{ m}^2}{2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 44$$

Donde:

- $d_0$ : Diámetro orificio, 0.018 m (adoptado)
- $a_0$ : Área de cada orificio =  $2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ .
- $n$ : Número de orificios

Se adopta un número de filas y columnas para la disposición de los orificios en la pantalla distribuidora y se calcula la distancia entre las mismas de manera tal de generar distribución uniforme en la entrada del efluente. (Becker, 2018)

No se colocarán orificios en el primer y último quinto de la altura del sedimentador, para no ocasionar cortocircuitos entre los vertederos, ni tampoco arrastre de los lodos. Además, la separación entre orificios debe ser menor o igual a 0.5 m.

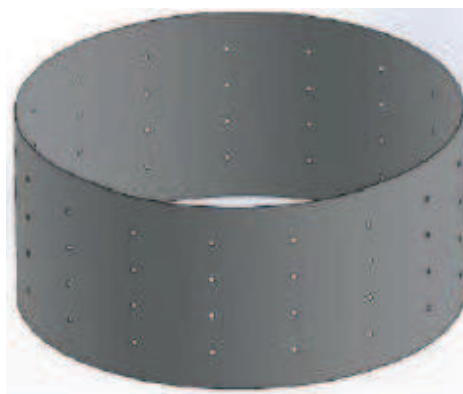


Figura 49: Pantalla difusora perforada. Fuente: (Becker, 2018)

Se define que la separación de orificios en el eje x será de 0.4 m, y conociendo el perímetro del tanque, el número de columnas obtenidas es de 14.77, que redondeado a valor



entero serán 15. Con este número de columnas, se necesitarán 3 filas para llegar a los 44 orificios calculados previamente. Estas 3 filas también estarán separadas a 0.2 m entre sí.

Tabla 40: Datos de la zona de entrada del sedimentador primario. Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Datos	Valor	Unidad
Dt	Diámetro tubo de entrada	0.38	m
Hp	Altura pantalla cilíndrica	1.728	m
Ao	Área total de los orificios	0.011	m <sup>2</sup>
Q	Caudal de diseño	6	m <sup>3</sup> /hora
vo	Velocidad de paso por los orificios	0.15	m/seg
do	Diámetro de orificio	0.018	m
ao	área de cada orificio	$2.5 \times 10^{-4}$	m <sup>2</sup>
n	número de orificios	44	N/A
ex	separación de orificios en eje x	0.4	m
Nc	número de columnas	15	N/A
Nf	número de filas	3	N/A

### Zona de salida

El tipo de estructura de salida determina en buena parte la mayor o menor proporción de partículas que pueden ser re-suspendidas en el flujo. Estas perturbaciones solo afectan a la masa de agua que está al final del decantador. (Rodríguez)

La zona de salida consiste en una chapa, cortada en ranuras triangulares, adosada al muro en la salida del decantador, por medio de bulones que permiten el regulado de la misma. Este tipo de estructura es conocida como vertedero tipo Thomson. (Rodríguez)

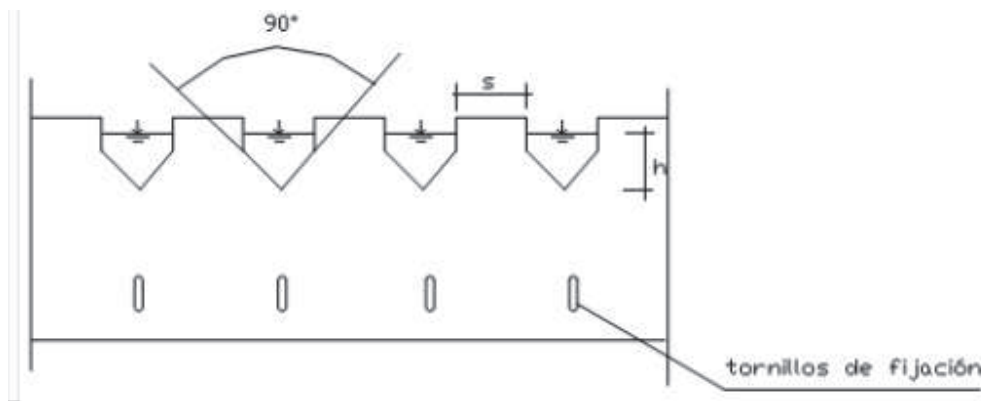


Figura 50: Esquema de un vertedero tipo Thomson. Fuente: (Rodríguez)

A continuación, se referencia la ecuación del caudal para vertederos triangulares, con  $\alpha$  igual a  $90^\circ$ .

$$Q = 1.4 h^{2.5}$$

$$h = \sqrt[2.5]{\frac{Q}{1.4}}$$

Al  $h$  estar elevado a la  $5/2$ , resulta muy sensible al caudal, es decir, que ligeras modificaciones de  $h$  implican variaciones relativamente importantes del mismo. Esta propiedad es la razón por la cual los vertederos regulables son de gran utilidad en la salida de sedimentadores. Para esto se coloca la lámina metálica graduable mediante tornillos de fijación. (Becker, 2018)

Según Thomson, para  $0.07 \text{ m} \leq h \leq 0.15 \text{ m}$ , el coeficiente de descarga es  $c = 0.593$ . Para el caudal de diseño, se adopta un valor de  $h = 0.08 \text{ m}$ . Por otro lado, el ancho del vertedero será de  $0.16 \text{ m}$ .

Para estimar la proporción del perímetro de la unidad que ocupan los vertederos, se utiliza la siguiente expresión:

$$L_v = \frac{Q}{C_v}$$

Donde:

- $L_v$ : Longitud necesaria de vertedero, m
- $Q$ : Caudal de diseño, 6 m<sup>3</sup>/h
- $C_v$ : Carga de salida por el vertedero  $\leq 1.8$  l/sm

Adoptando una carga de salida por vertedero y reemplazando el caudal de diseño en la ecuación anterior, se obtiene que la longitud necesaria de vertedero es de 0.95 m.

El número de vertederos se calcula a partir de la relación entre ancho total de cada vertedero y la longitud necesaria total según:

$$N_v = \frac{L_v}{2b}$$

El número de vertederos final es de 6.

Para el sistema de recolección del efluente se diseña un canal que rodea toda la unidad. Este canal no puede funcionar ahogado, debe funcionar libre para garantizar la carga constante sobre los vertederos de salida y que el agua salga uniformemente. (Becker, 2018)

Las dimensiones necesarias para la canaleta de recolección se calculan mediante la expresión: (Becker, 2018)

$$h_{m\acute{a}x} = \left(\frac{73Q}{b}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- $h_{m\acute{a}x}$ : Lámina máxima de agua en la canaleta, cm
- $Q$ : Caudal de diseño, 6 m<sup>3</sup>/h
- $b$ : Ancho de la canaleta, cm

Se propone un ancho para la canaleta y con el caudal de diseño se calcula la lámina máxima. Se propone una revancha de 5 cm para evitar rebalses y la carga máxima del vertedero se eleva 5 cm para garantizar que la canaleta trabaje libre. (Becker, 2018)

- $b$ : Ancho de la canaleta = 14 cm (valor adoptado)
- $h_{\text{máx}}$ : Lámina máxima de agua en la canaleta = 4,23 cm

Tabla 41: Datos de la zona de salida del sedimentador primario. Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Datos	Valor	Unidad
Q	Caudal de diseño	6	m <sup>3</sup> /hora
h	altura de canaleta	0.08	m
2b	Ancho del vertedero	0.16	m
L <sub>v</sub>	Longitud necesaria de vertedero	0.955	m
C <sub>v</sub>	Carga de salida por el vertedero	6.28	m <sup>3</sup> /hm
N <sub>v</sub>	Número de vertederos	6	N/A
h <sub>máx</sub>	Lámina máxima de agua en la canaleta	4.23	cm
b	Ancho de la canaleta	14	cm

### Zona de recolección de barros

La recolección de los lodos se realizará de forma manual en el fondo de la unidad, ubicando la zona de descarga en la parte de mayor acumulación de barro. El lodo depositado en el fondo no se dispone de manera uniforme y se debe considerar una pendiente mínima en el fondo en el sentido del lugar de la descarga. La pendiente mínima de la tolva recomendada por Eckenfelder, 2001, es de 8,3 cm/m. (Becker, 2018)

Según la Tabla Relación superficie agua-lodos empresas menores a 30 m<sup>3</sup> en el capítulo de caracterización del efluente, la generación de lodos para los acabados decorativos es de 3020 kilos por año, algo así como 8.3 kg/día.

Se adopta un tiempo de descarga de 1 hora, el cual se considera suficiente para el proceso de contracción en la zona de descarga. Se considera criterioso dejar para depósito de lodos un 10% adicional sobre el volumen de la zona de sedimentación. (Becker, 2018)

Se propone un sumidero cónico central de paredes inclinadas a un ángulo de 40° con respecto a la línea vertical. Con el radio del tanque de sedimentación, se calcula la altura de la zona de descarga. (Becker, 2018)

- $H_D$ : Altura zona de descarga, 1 m

$$V_d = \frac{\pi r^2 h_D}{3}$$

- $V_D$ : Volumen zona de descarga, 0.93 m<sup>3</sup>

La tolva de recolección debe contar con una tubería de descarga, cuya sección se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_D = \left( \frac{A_s}{4850 t_D} \right) \sqrt{H_s}$$

Donde:

- $S_D$ : Sección de descarga, m<sup>2</sup>
- $A_s$ : Área superficial del sedimentador, m<sup>2</sup>
- $t_D$ : Tiempo de descarga, h
- $H_s$ : Altura del nivel del agua sobre la boca de descarga, m

Adoptando un valor para el tiempo de descarga, se obtiene una sección de descarga reemplazando en la ecuación anterior los valores de  $H_s$  y  $A_s$  calculado anteriormente.

- $t_D$ : Tiempo de descarga = 1 h (adoptado)
- $H_s$ : Altura del nivel del agua sobre la boca de descarga = 4.5 m
- $S_D$ : Sección de descarga = 0,012 m<sup>2</sup>
- $D_D$ : Diámetro de descarga = 0,04 m

Para prevenir taponamiento del tubo de salida, se propone instalar cañerías de DN 63mm con salida lateral desde el centro de la tolva. Para prevenir asentamientos de lodo en la tubería de desagüe, la velocidad de flujo debe ser mayor de 1.4 m/s.

Tabla 42: Datos de la zona de recolección de barros del sedimentador primario. Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Datos	Valor	Unidad
Hd	Altura zona de descarga	1	m
Vd	Volumen zona de descarga	0.93	m <sup>3</sup>
Sd	Sección de descarga	0.0012	m <sup>2</sup>
As	Área superficial del sedimentador	2.78	m <sup>2</sup>
td	Tiempo de descarga	1	h
Hs	Altura del nivel del agua sobre la boca de descarga	4.5	m
Dd	Diámetro de descarga	0.0393	m

### Almacenamiento provisorio de lodos

Se buscará dimensionar un almacenamiento transitorio para los lodos generados. Es importante colocar una bomba de transferencia, que impulse los lodos hasta un espesador, con la finalidad de quitar el contenido de agua en los mismos, para así reducir el volumen, y de esa manera los costos de tratamiento y disposición final.

Se instalará una tolva de 45° de inclinación y 8500 litros de capacidad, donde el lodo tendrá un tiempo de residencia de 1 día, suficiente para reducir su volumen casi en un 50%.

## **6.3 Efluentes industriales y cloacales**

Para esta nueva etapa del tratamiento, los caudales cloacales e industriales se unen para ingresar en el tanque SBR y continuar con el tratamiento para su vuelco. Es importante recordar que, para esta etapa, el caudal de ingreso de cloacales será de un 40% al de diseño para el tratamiento primario ya que el 60% restante se dirige al tanque de abastecimiento.

### **6.3.1 Regulación pH**

Es necesario controlar el pH de ingreso al reactor biológico SBR. A través de información tomada de bibliografía, el pH desciende bruscamente luego del tratamiento fisicoquímico por coagulación, floculación y sedimentación. El pH óptimo para tratamientos

biológicos es de alrededor de 7. Por lo tanto, se propone instalar un dosificador de solución volumétrica en línea a la salida del sedimentador primario para la inyección del regulador de pH. Es el mismo que se utiliza para los efluentes cloacales.

### 6.3.2 Sistema de tratamiento biológico: Reactor biológico secuencial (SBR)

La explotación de los SBR se caracteriza por encadenar etapas o fases, y por secuenciarlas definiendo ciclos. Se pueden realizar cambios de operación modificando la duración y la secuencia de las fases. Los tiempos de los ciclos se pueden ir cambiando conforme se va adquiriendo experiencia con una determinada agua e, incluso, se pueden adaptar los ciclos a variaciones estacionales de las mismas. (Suárez López, Jácome Burgos, & Ures Rodríguez, 2015)

El diseño del reactor y sus elementos complementarios quedan muy condicionados por las fuertes variaciones de nivel que se van a producir en el tanque, ya que tendrá fases de llenado, con agua residual a tratar, y de vaciado de agua tratada y fangos en exceso. (Suárez López, Jácome Burgos, & Ures Rodríguez, 2015). Es importante tener en cuenta que los tanques SBR nunca se encuentran vacíos, tal como se ve en la Figura 51.

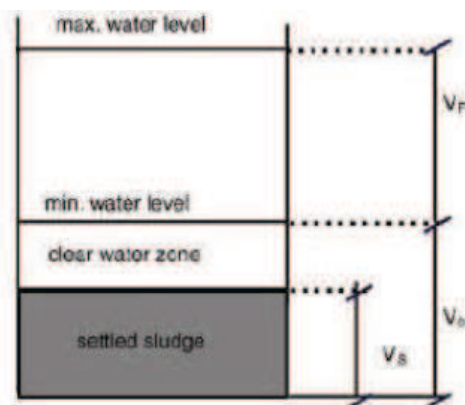


Figura 51: Esquema de un tanque SBR. Fuente: Google Imágenes.

Los tanques en paralelo pueden ser de igual o diferente tamaño. Hacer unidades iguales en tamaño no proporciona ventajas adicionales más que facilidad en el control de operación. El volumen total de un SBR consta de un volumen fijo más un volumen variable que representa el volumen de agua residual que llena el tanque y luego es descargado en cada ciclo. (Becker, 2018)

$$V_T = V_0 + V_F$$

Donde:

- $V_T$ : Volumen total,  $m^3$
- $V_0$ : Volumen fijo,  $m^3$ ,
- $V_F$ : Volumen variable,  $m^3$

El volumen total ( $V_T$ ) es la suma del volumen de lodos ( $V_S$ ) que, junto con el agua sobrenadante sobrante del ciclo anterior, forman el volumen fijo ( $V_0$ ) más el volumen variable ( $V_F$ ) que viene dado por el volumen de efluente que se adiciona en la etapa de llenado. El volumen fijo suele ocupar el 50% del volumen total del reactor, correspondiente el 30% al volumen de lodos y el 20% restante al volumen de agua clarificada del ciclo anterior. El 50% restante corresponde al nuevo efluente y se calcula según el caudal y el tiempo de llenado ( $T_F$ ), según la relación, (Klug, 2018)

$$V_F = Q * T_F$$

Donde:

- $Q$ : Caudal de ingreso,  $m^3/h$
- $T_F$ : Tiempo de llenado, h



El llenado constituye una de las 5 etapas del proceso: llenado (F), proceso (P), sedimentación (S), descarga (D), e inactividad (I), y cada una tiene un tiempo asociado, cuya suma resulta en el tiempo total del ciclo ( $T_C$ ). (Klug, 2018)

$$T_C = T_F + T_P + T_S + T_D + T_I$$

Donde:

- $T_S$ : El tiempo de sedimentación varía entre 0,5 y 2 horas normalmente, y se eligen las dos horas de forma precautoria.
- $T_D$ : El tiempo de vaciado varía entre el 5 y el 30% del tiempo total del ciclo.
- $T_F$ : El tiempo de llenado se calcula según la cantidad de reactores con los que se disponga y el caudal total.
- $T_P$ : El tiempo de proceso constituye las etapas de aireación y mezcla, y se obtiene según los parámetros que se quieran alcanzar luego del tratamiento. En este caso, se busca obtener una  $DBO_5$  menor a 50 mg/l, adoptándose un valor de la misma de 25 mg/l, para diseñar de manera de tener un margen de seguridad.

Por otro lado, el tiempo de proceso que constituye las etapas de aireación y mezcla, se obtiene según los parámetros que se quieran alcanzar luego del tratamiento. En este caso, se busca obtener una  $DBO_5$  menor a 50 mg/l, adoptándose un valor de la misma de 25 mg/l para diseñar de manera de tener un margen de seguridad.

El tiempo de llenado depende del número de reactores en paralelo y del tiempo de los demás procesos. Puede ocupar del 25 al 75 % del tiempo total de un ciclo. Se utiliza la ecuación debajo para el tiempo de llenado.

$$T_F = \frac{T_C}{n}$$

n: Número de reactores.

El modelo que describe la cinética de reacción depende de la velocidad de degradación de cada efluente por acción de los microorganismos. En este caso, se adopta para la cinética de remoción de sustrato la ecuación de Michaelis y Meten. (Becker, 2018)

$$\frac{dS}{dt} = -r_s = -\frac{kXS}{K_S + S}$$

Donde:

- $dS/dt$ : Velocidad de utilización de sustrato,  $mgDBO_5/l*d$
- $k$ : Tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos,  $mgDBO_5/mgSSV*d$
- $X$ : Concentración de biomasa,  $mgSSV/l$
- $S$ : Concentración de DBO soluble final,  $mgDBO_5/l$
- $K_S$ : Coeficiente de media saturación para compuestos orgánicos disueltos,  $mgDBO_5/l$ .

El modelo matemático permite predecir la dinámica del reactor para la reducción de la carga orgánica y sólidos en el efluente, contemplando únicamente las etapas donde ocurre la biodegradación. Integrando la ecuación previa, se obtiene

$$K_S \ln\left(\frac{S_0}{S}\right) + S_0 - S = kXT_p$$

Donde:

- $S_0$ : Concentración de DBO soluble inicial en efluente a tratar,  $mg/l$

La concentración de biomasa puede ser regulada para cumplir con el F/M óptimo en función de la carga orgánica del efluente. El volumen de reactor fijo está determinado por la carga de diseño y la selección de estos parámetros. El volumen fijo viene dado por la ecuación (Becker, 2018):

$$X = \frac{QS_0}{\frac{F}{M} V_0}$$

Por otro lado, el tiempo medio de retención celular determina la cantidad de biomasa en el reactor y por esta razón es importante determinar su rendimiento promedio. Puede expresarse en función de la concentración de biomasa y la variación de la misma en el tiempo. (Becker, 2018)

$$\theta_c = \frac{X}{\frac{dX}{dt}} = \frac{V_T X}{Q_P X_P}$$

Donde:

- $\theta_c$ : Tiempo de retención celular, d
- $V_T$ : Volumen total del reactor, m<sup>3</sup>
- $X$ : Concentración de biomasa en el reactor, gSSV/m<sup>3</sup>
- $Q_P$ : Caudal de purga de lodos, m<sup>3</sup>/d
- $X_P$ : Concentración de biomasa en el lodo de purga, gSSV, m<sup>3</sup>

La cantidad de lodos producidos que debe purgarse diariamente viene dada por la ecuación:

$$P_X = \frac{YQ(S_0 - S)}{1000(1 + k_d\theta_c)} = \frac{Y_{obs}Q(S_0 - S)}{1000}$$

Donde:

- $P_X$ : Producción en exceso de lodos generado diariamente, kgSSV/d
- $Y_{obs}$ : Coeficiente de producción real, mgSSV/mgDBO

Los parámetros de diseño generalmente utilizados para tratamiento de efluente industrial en reactores SBR bajo el modelo de Monod se encuentran detallados en la tabla debajo. (Becker, 2018)

Tabla 43: Parámetros típicos de diseño para tratamiento de efluentes industriales en reactores SBR a 20°C.

Parámetro	Valor	Unidad
F/M	0,15 – 0,6	l/día
X	2000 – 5000	mgSSV/l
TC	4 – 24	h
Θ	Variable	día
ΘC	15 – 30	día
K	2 – 6	mgDBO/mgSSVd
KS	70 – 150	mgDBO/l
Y	0,6	mgSSV/mgDBO
Kd	0,014	l/día
XP	5000 – 8000	mgSSV/l

### Determinación de los tiempos de proceso y dimensiones de los reactores SBR

Se proponen para este sistema SBR dos tanques reactores rectangulares adyacentes que compartan la pared intermedia. Cada reactor realizará 1 ciclo diario, es decir, el tiempo total de un ciclo es de 24 horas.

Donde:

- n: Cantidad de reactores, 2.
- m; Cantidad de ciclos por día por reactor, 1.

La duración de la etapa de llenado debe corresponderse a la mitad del tiempo de generación de efluente durante una jornada laboral, para que todo el efluente generado quede contenido en los 2 reactores SBR para su tratamiento batch. (Becker, 2018)

El tiempo de proceso podrá calcularse de la siguiente manera:

$$K_S \ln \left( \frac{S_0}{S} \right) + S_0 - S = kXT_P$$

$$T_P = \frac{K_S \ln \left( \frac{S_0}{S} \right) + S_0 - S}{kX}$$

Para la descarga final, se considera que los efluentes sean descargados en un cuerpo de agua superficial. Según normativa, los valores aprobados son de 50 mg/l, pero se apunta a alcanzar una DBO final de 25 mg/l. Por otro lado, se multiplica el tiempo obtenido por un factor de seguridad de 1,8 con el fin de asegurar el tiempo de permanencia suficiente para que el tratamiento del efluente alcance la calidad final deseada.

Donde:

- S: Concentración de DBO soluble, 25 mg/l
- $S_0$ : Concentración de DBO soluble en efluente a tratar. 1500 mg/l
- k: Tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos, 2 mgDBO/mgSSVd (adoptado)
- X: Concentración de microorganismos, 3000 mg SSV/l (adoptado)
- $K_S$ : Coeficiente de media saturación para compuestos orgánicos disueltos, 150 mgDBO/l (adoptado)
- $T_P$ : Tiempo de proceso (h), --> 15 horas

En base al valor obtenido del tiempo de proceso, se calcularon los tiempos de las demás etapas.

Con el caudal de diseño y el tiempo de llenado, se obtiene el volumen variable de cada reactor. Además, se propone que el volumen fijo sea igual al anterior. (Becker, 2018)

Se recomienda el diseño de tanques profundos dado que la eficiencia de aireación incrementa con la profundidad: una mayor fracción de sobrenadante puede eliminarse durante el vaciado y los requisitos de espacio son menores (Ketchum, 1997). Se adopta la altura de cada reactor y el ancho de los mismos (Becker, 2018).

Tabla 44: Dimensionamiento del tanque SBR. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Datos	P1	P2	Unidad
S	Concentración de sustrato en el reactor	25	25	mg/l
So	Concentración de sustrato en el efluente que ingresa al reactor	220	1500	mg/l
k	Tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de $\mu\text{org}$	2	2	mgDBO/mgSSVd
X	Concentración de microorganismos	3000	3000	mg SSV/l
Ks	Coefficiente de media saturación para compuestos orgánicos disueltos	70	70	mgDBO/l
Tp	Tiempo de proceso	2.5	12.69	horas
n	Cantidad de reactores	2	2	Unidad
m	Cantidad de ciclos por día por reactor	1	1	Unidad
Tc	Tiempo total de un ciclo	24	24	horas
Tf	Tiempo de llenado	4.5	4.5	horas
Ts	Tiempo de sedimentación	2	2	horas
Td	Tiempo de descarga	2	2	horas
Te	Tiempo efectivo	19	19	horas
Ti	Tiempo de inactividad	1	1	horas
Vf	Volumen variable	21.6	32.4	m <sup>3</sup>
Q	Caudal de ingreso	4.8	7.2	m <sup>3</sup> /h
V0	Volumen fijo	21.6	32.4	m <sup>3</sup>
Vt	Volumen total	43.2	64.8	m <sup>3</sup>
H	Profundidad del reactor	4	4	m
A	Ancho del reactor	3	3	m
L	Largo del reactor	3.6	5.4	m <sup>2</sup>
S	Superficie del reactor	10.8	16.2	m <sup>2</sup>

### Zona de entrada

Los efluentes industriales ingresarán por conducción a gravedad desde el sedimentador primario en la parte media superior del tanque para evitar el taponamiento de dicha cañería durante el proceso de sedimentación. Mientras tanto, los cloacales ingresarán propulsados por la bomba sumergible en el tanque de homogeneización de cloacales propiamente.

Se propone la colocación de un deflector de 90° a lo ancho del reactor para forzar al afluente a ingresar más cerca del fondo del mismo de manera homogénea, entrando en contacto con la biomasa sedimentada del ciclo anterior. (Klug, 2018)

### **Zona de salida**

A pesar de tener caudales muy variables asociados a los cambios de producción, el sistema SBR fue diseñado de manera tal que trabaje con un único volumen de líquido en el reactor, por lo tanto, la salida del mismo se produce siempre a una altura constante.

Para la salida del efluente ya tratado se propone la instalación de un equipo AFD decantador flotante para reactores SBR, el cual descarga el agua en la parte superior del reactor biológico y evacua el efluente mediante un mecanismo extractor que sigue la línea de agua gracias a una estructura flotante. Véase un esquema del funcionamiento del mismo debajo. (Klug, 2018)

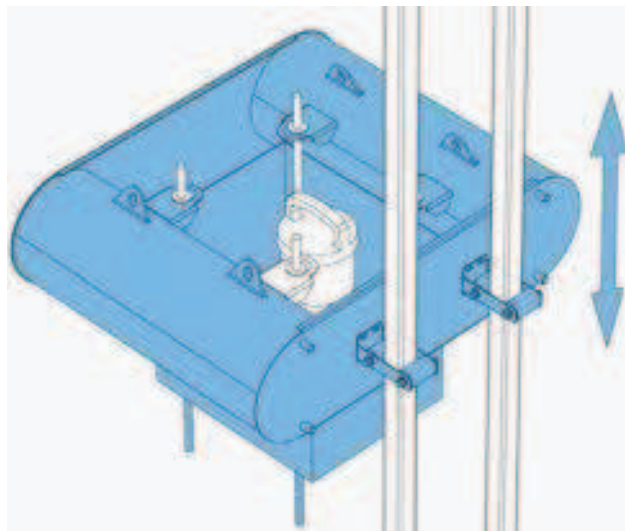
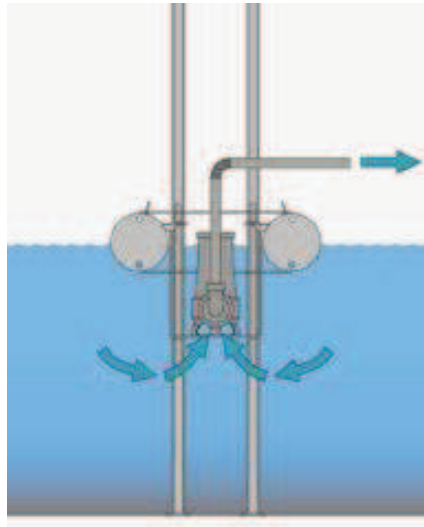


Figura 52: Esquema de funcionamiento del decantador flotante. Fuente: (GV Soluciones)

Este sistema debe bombear un volumen de efluente constante, pero en distintos períodos de tiempo. Considerando los tiempos de vaciado y el volumen variable, se obtiene el caudal al que debe ser extraído el líquido.

Tabla 45: Caudal de vaciado del tanque SBR. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Datos	P1	P2	Unidad
Qd	Caudal de vaciado	10.8	16.2	m <sup>3</sup> /h



## Recolección de lodos

Para la descarga de barros, se propone colocar cañerías de salida laterales a distintas alturas del fondo del reactor. Esta disposición permite la extracción de lodos a diferentes alturas del manto, que no solo es beneficioso cuando alguna salida se obstruye, sino que también permite realizar análisis sobre la decantación del lodo (Becker, 2018).

La purga de lodos se realiza de manera manual. Ambos reactores deben purgarse durante el horario de la jornada laboral y la tarea será realizada y controlada por el operador de la planta. No se considera necesario automatizar este proceso (Becker, 2018).

El lodo de ambos reactores se dispondrá provisoriamente en una tolva de 45° de 2000 litros de capacidad, donde permanecerá 1 día: lo suficiente para reducir su volumen casi en un 50% (Becker, 2018).

$$\theta_c = \frac{X}{\frac{dX}{dt}} = \frac{V_T X}{Q_P X_P}$$

Donde:

- $\theta_c$ : Tiempo de retención celular, día
- $V_T$ : Volumen total del reactor, m<sup>3</sup>
- $X$ : Concentración de biomasa en el reactor, gSSV/m<sup>3</sup>
- $Q_P$ : Caudal de purga de lodos, m<sup>3</sup>/día
- $X_P$ : Concentración de biomasa en el lodo de purga, mgSSV/m<sup>3</sup>

Donde:

La cantidad de lodos producidos que debe purgarse diariamente viene dada por la ecuación:

$$P_x = \frac{YQ(S_0 - S)}{1000(1 + k_D\theta_c)} = \frac{Y_{obs}Q(S_0 - S)}{1000}$$

Donde:

- $P_x$ : Producción en exceso de lodos generado diariamente, kgSSV/día
- $Y_{obs}$ : Coeficiente de producción real, mgSSV/mgDBO

Para calcular la producción de lodos, primero se obtiene el tiempo de retención celular mínimo necesario para que la biomasa pueda cumplir con su función de tratamiento. Se adopta un tiempo de retención celular, que sea 20 veces mayor al mínimo para asegurar la estadía adecuada de lodos. (Becker, 2018)

Se selecciona un tiempo de retención celular ( $\theta_c$ ) de 30 días. Para calcular la producción de lodos, se adoptan los siguientes valores:

- $Y$ : Coeficiente de relación entre masa de células formadas y masa de sustrato consumido = 0,6 mgSSV/mgDBO (valor adoptado)
- $k_d$ : Coeficiente de descomposición endógena = 0,014 d<sup>-1</sup> (valor adoptado)

Tabla 46: Dimensionamiento de la zona de barras del tanque SBR. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Datos	P1	P2	Unidad
$\theta_c$	Tiempo de retención celular	30	30	días
$Y$	Coeficiente de relación entre masa de células formadas y masa de sustrato consumido	0.6	0.6	mgSSV/ mgDBO
$k_d$	Coeficiente de descomposición endógena	0.014	0.014	1/día
$X_p$	Concentración de biomasa en el lodo de purga	5000	5000	mgSSV/l
$P_x$	Producción de lodos	9.5	107.7	kg/día*reactor
$Q_p$	Caudal de purga	0.864	1.296	m <sup>3</sup> /día

### Requerimiento de oxígeno

La teoría de la doble capa se basa en un modelo físico según el cual en la interfase gas-líquido existen dos capas. Ambas capas, una líquida y la otra gaseosa, presentan una resistencia al paso de las moléculas de gas entre una fase y otra. En el caso de gases

ligeramente solubles, la capa que ofrece una mayor resistencia al paso de las moléculas es la capa líquida. (Metcalf & Eddy INC, 1995)

La velocidad de transferencia de gases suele ser proporcional a la diferencia entre la concentración existente y la concentración de equilibrio del gas disuelto. Esta relación se puede expresar de la siguiente manera: (Metcalf & Eddy INC, 1995)

$$N = -D_L A \frac{dC}{dy}$$

Donde:

- N: Transferencia de masa (kg O<sub>2</sub>/h)
- A: Área transversal a través de la cual se produce la difusión (m<sup>2</sup>)
- D<sub>L</sub>: Coeficiente de difusión del gas.
- dC/dy: Gradiente de concentración perpendicular a A.

Esta ecuación se puede expresar en términos de una película de gas y líquido según:

$$N = K_L A (C_S - C_L) = \frac{D_L}{Y_L} A (C_S - C_L)$$

Donde:

- C<sub>S</sub>: Concentración de saturación del oxígeno, (9,7 mg/l)
- C<sub>L</sub>: Concentración de oxígeno disuelto (mg/l)
- K<sub>L</sub>: Coeficiente de la película líquida (m/h)
- Y<sub>L</sub>: Espesor de la película (m)

Para gases poco solubles como el oxígeno y el dióxido de carbono, la resistencia de la película líquida controla la tasa de transferencia de masa. Para estos gases, la ecuación anterior puede expresarse en unidades de concentración según:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{V} N = K_L \frac{A}{V} (C_S - C_L) = K_L a (C_S - C_L)$$

Donde:

- V: Volumen del líquido (m<sup>3</sup>)
- K<sub>La</sub>: Coeficiente global de transferencia de gases (m<sup>3</sup>/sm<sup>3</sup>)

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del sistema de aireación se presentan a continuación.

Tabla 47: Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema de aireación para la propuesta 2.

Símbolo	Dato	Rango	Valor	Unidad
f <sub>RO</sub>	Factor de conversión de DBO <sub>5</sub> en DBOI	0,47 – 0,7	0,5	N/A
C <sub>s</sub>	Concentración de O <sub>2</sub> disuelto saturado en agua limpia a 20°C y 1 atm	-	9,09	mg O <sub>2</sub> /l
C <sub>w</sub>	Concentración de saturación de O <sub>2</sub> en efluente a Ti, altura y salinidad	-	9,5	mg O <sub>2</sub> /l
Cl	Concentración de oxígeno en condiciones de funcionamiento	1,5 – 3	2,5	mg O <sub>2</sub> /l
α	Factor de conversión de la transferencia de oxígeno para el efluente	0,4 – 0,8	0,6	N/A
β	Factor de corrección por salinidad y tensión superficial	0,9 – 0,95	0,9	N/A
T	Temperatura de líquido	-	25	°C

El sistema de tratamiento biológico por aireación extendida basa su principio de funcionamiento en la degradación y estabilización de la DBO de la materia orgánica por medio de microorganismos presentes en el líquido del reactor. Estos microorganismos necesitan oxígeno en cantidades específicas para mantener el ciclo vital. La cantidad teórica de oxígeno necesaria para que funcione el tratamiento biológico se calcula conociendo la DBO removida y la cantidad de microorganismos producidos en el sistema. En términos de los parámetros conocidos la demanda de oxígeno teórica (AOR, kgO<sub>2</sub>/d) se define como: (Sandri, 2021)

$$AOR = \frac{Q(S_o - S)}{f_{RO}} - 1,42 (P_X)$$

Los sistemas de aireación forzada definen su transferencia de oxígeno en función del Requerimiento Estándar de Oxígeno (SOR, por sus siglas en inglés). En este punto, es necesario estimar el SOR para invierno como para verano, y adoptar el SOR más elevado. Esto garantizará la satisfacción de demanda de oxígeno durante todo el año. El SOR se define como (Sandri, 2021):

$$SOR = \frac{RO C_s}{(\beta C_w - C_l)(1,024^{T-20})\alpha}$$

Donde:

- SOR: Requerimiento Estándar de Oxígeno (kg O<sub>2</sub>/día)
- β: Factor de corrección por salinidad y tensión superficial.
- C<sub>s</sub>: Concentración de oxígeno disuelto saturado en agua limpia a 20°C y 1 atmósfera.
- C<sub>w</sub>: Concentración de saturación de oxígeno en efluente a T y altura dada.
- C<sub>l</sub>: Concentración de oxígeno en condiciones de funcionamiento.
- T: Temperatura del líquido.
- α: Factor de conversión de la transferencia de oxígeno para el efluente.

Tabla 48: Etapa de aireación de los reactores.

Símbolo	Datos	P1	P2	Unidad
AOR	Requerimiento de oxígeno	31.45	356.83	kgO <sub>2</sub> /día
f	Factor de conversión	0.5		N/A
C <sub>s</sub>	Concentración de oxígeno disuelto saturado en agua limpia a 20°C y 1 atmósfera	9.09		mg O <sub>2</sub> /l
C <sub>w</sub>	Concentración de saturación de O <sub>2</sub> en efluente a T <sub>i</sub> , altura y salinidad	9.5		mg O <sub>2</sub> /l
C <sub>l</sub>	Concentración de oxígeno en condiciones de funcionamiento	2.5		mg O <sub>2</sub> /l
α	Factor de conversión de la transferencia de oxígeno para el efluente	0.6		N/A
β	Factor de corrección por salinidad y tensión superficial	0.9		N/A
T	Temperatura de líquido	25		°C
SOR	Requerimiento Estándar de Oxígeno	70	793.63	kgO <sub>2</sub> /día

## Equipos de aireación

Considerando que en los sistemas SBR resulta imperativa la aireación, se optó por un sistema de aireación compuesto de difusores tubulares de burbuja fina, debido a su elevada eficiencia de transferencia de oxígeno.

Para este sistema, se seleccionaron los difusores Repicky de membrana de burbuja fina modelo RG-300, con miles de micro perforaciones, que permiten obtener valores muy altos de transferencia de O<sub>2</sub>, resultando ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales (Repicky, 2011).

Difusor de burbuja fina   RG-300	
Rango de caudal:	2 a 8 Nm <sup>3</sup> /hora
Caudal de diseño:	5 Nm <sup>3</sup> /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 Nm <sup>3</sup> /hora 40 mbar para 5 Nm <sup>3</sup> /hora 70 mbar para 8 Nm <sup>3</sup> /hora
Densidad:	1 a 6 difusores/m <sup>2</sup>
SOTE:	15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m <sup>3</sup> /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O <sub>2</sub> :	2,5 — 6 Kg. O <sub>2</sub> /KWh



Figura 53: Detalle técnico del difusor de burbuja fina RG-300, marca Repicky. Fuente:

En grandes reactores biológicos, la cantidad necesaria de difusores se determina en función de los requerimientos totales de O<sub>2</sub> ya que cada difusor aporta una parte del O<sub>2</sub> requerido. Las principales variables que intervienen en la capacidad de transferencia de cada difusor RG-300 son la profundidad útil del reactor, el caudal de aire por difusor y la densidad o cantidad de difusores por m<sup>2</sup> de cámara o reactor. En general se obtiene una mejor capacidad de transferencia de O<sub>2</sub> cuanto más profunda es la cámara y mayor la cantidad de difusores por m<sup>2</sup> de superficie. Las instalaciones llevan entre 1 y 2 difusores por m<sup>2</sup> hasta un

máximo práctico de 6 dif/m<sup>2</sup>. Para los cálculos iniciales se utiliza el caudal de diseño del difusor que es de 5 m<sup>3</sup>/h medidos a 20° C y presión atmosférica normal (esta condición se conoce como condiciones Standard). Luego puede ser necesario realizar un ajuste en la cantidad definitiva de difusores en función de la geometría y cantidad de ramales y grillas adoptadas. El rango de trabajo del difusor es de 2 a 8 m<sup>3</sup>/h, resultando conveniente trabajar en valores cercanos al caudal de diseño ya que se obtienen excelentes resultados de aireación y mezcla, y una vida prolongada de las membranas (Repicky, 2011).

Obtenido el valor del SOR en kgO<sub>2</sub>/día, se lo convierte en Nm<sup>3</sup>/h de aire teniendo en cuenta que el aire tiene 280 gO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>. El valor del SOR finalmente es de 10.4 Nm<sup>3</sup>/h para la propuesta 1 y 118 Nm<sup>3</sup>/h para la propuesta 2.

Teniendo en cuenta los difusores adoptados, sabemos que los mismos pueden trabajar en una capacidad comprendida entre 2 y 8 Nm<sup>3</sup>/h, con un caudal de diseño de 5 Nm<sup>3</sup>/h. Por lo tanto, dividiendo el SOR por la capacidad de cada difusor, se conoce el número de difusores a colocar: serán 3 para la propuesta 1, y 24 para la 2.

### **6.3.3 Cámara de desinfección**

El efluente de una planta de tratamiento de líquidos es generalmente desinfectado antes de la descarga en el cuerpo de agua receptor para disminuir el riesgo de enfermedades ocasionado por organismos patógenos que pudieran existir aún luego del tratamiento completo. La efectividad de la desinfección depende del tiempo de exposición y de la toxicidad del desinfectante.

La cinética de muerte de los microorganismos fue formulada por Chick en 1908 como una cinética de primer orden:

$$\frac{dN}{dt} = -KN$$

Donde:

- $dN/dt$  = variación de la población de microorganismos.
- $k$  = constante de muerte de microorganismos
- $N$  = número de microorganismos sobrevivientes por unidad de volumen a un dado tiempo

Esta ecuación integrada da por resultado

$$Kt = \ln\left(\frac{N_i}{N_f}\right)$$

Donde.

- $N_i$ : número inicial de organismos
- $N_f$ : número final de organismos
- $t$  = tiempo

Aquí se muestra la dependencia del tiempo de contacto del desinfectante con su grado de acción sobre los microorganismos. La cinética de muerte de microorganismos se ve influenciada por una mezcla pobre, por la resistencia de las células, la oxidación, complejación, dispersión y el tiempo de retención en el tanque de desinfección.

La elección de un material desinfectante depende de su efectividad, costo, practicabilidad y de los potenciales efectos secundarios.

Para las aguas residuales la cloración debe ser posterior a la depuración de las aguas, los tratamientos terciarios de filtración o coagulación, floculación, decantación y filtración. La dosis de cloro que se aplique debe ser la necesaria para destruir todos los organismos presentes en ella.



El líquido es enviado a una cámara de contacto laberíntica, donde se le agrega hipoclorito de sodio para desinfectar. Dicha disposición permite que haya un mayor tiempo de contacto entre el cloro y el líquido.

La cámara de desinfección debe cumplir con un mínimo de 20 minutos de tiempo de residencia y así garantizar que, con la dosis de cloro aplicada, la concentración de coliformes baje de  $10^7$  (valor adoptado) a 200 mg/100 ml. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{N_t}{N_0} = (1 + 0,23 * C_t * t)^{-3}$$

$$C_t = 7.79 \text{ mg/l}$$

Donde:

- $N_0$ : Concentración de coliformes inicial (mg/100 ml)
- $N$ : Concentración de coliformes finales (mg/100 ml)
- $C$ : Concentración de cloro necesaria (mg/l)
- $t$ : Tiempo de permanencia en la cámara de desinfección (min)

Se debe considerar que el valor de coliformes inicial fue adoptado según parámetros de bibliografía, por lo que, en la operación se debe medir la cantidad real de coliformes en el efluente y ajustar la dosis de cloro de manera acorde.

El tiempo de residencia (20 minutos) debe ser mayor que la razón entre el volumen de la cámara y el caudal que ingresa.

$$t_{res} > \frac{V}{Q} \rightarrow V < t_{res} * Q = 2.4 \text{ m}^3$$

En función de este resultado se adopta un volumen de la cámara de  $2 \text{ m}^3$ . Luego, se adopta una altura (h) de 1.5 m, por lo tanto, el área superficial ( $A_s$ ) debe ser de  $1.6 \text{ m}^2$ .

Para ello se adoptan relaciones entre largo y ancho y el ancho de los canales:

$$\frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}} = 2$$

Tabla 49: Dimensiones de la cámara de desinfección. Fuente: Elaboración propia.

Símbolo	Datos	P1	P2	Unidad
Nt	Concentración de coliformes final	200	200	mg/100ml
No	Concentración de coliformes inicial	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>	mg/100ml
C	Concentración de cloro necesaria	7.79		mg/l
Tp	Tiempo de permanencia	20		min
Q	Caudal de diseño	115.2	172.8	m <sup>3</sup> /día
D cl	Dosis de cloro	0.9	1.35	kg/día
V	Volumen clorinador	1.6	2.4	m <sup>3</sup>
H	Altura clorinador	1.5	1.5	m
As	Área superficial	1.067	1.6	m <sup>2</sup>
L	Largo	1.461	1.789	m
a	Ancho de canal	0.73	0.894	m

Ancho de los canales (C):

$$C = \frac{L}{40} = 0,045 \text{ m}$$

Número de tabiques:

$$N^{\circ} \text{ de tabiques} = \frac{a}{C} - 1 = \frac{0.894 \text{ m}}{0,045 \text{ m}} - 1 = 19 \text{ tabiques}$$

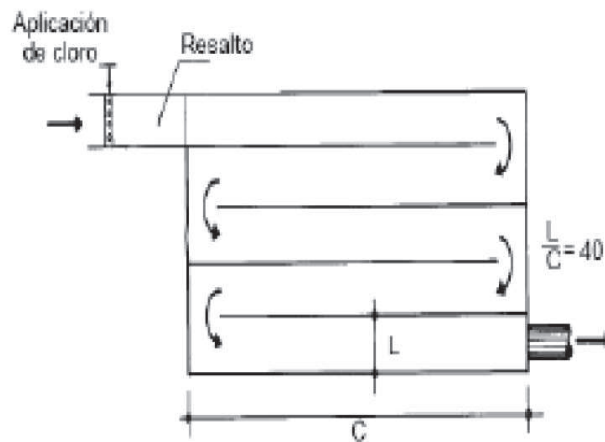


Figura 54: Esquema de una cámara de contacto. Fuente: Google Imágenes.

### 6.3.4 Cámara de muestreo y medición de caudal

Este método se aplica para plantas de tratamiento y grandes industrias, entre otros, según las características físicas (geometría) de la salida del efluente. En el caso que el método volumétrico sea inoperante, se puede aplicar el método del vertedero, que consiste en una obstrucción hecha en el canal para que el líquido retroceda levemente detrás de la misma y fluya sobre o a través de ella. Si se mide la altura de la superficie líquida corriente arriba es posible determinar el flujo. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

En caso de tomar la decisión de utilizar un vertedero de geometría conocida implicaría necesariamente que el flujo del vertimiento se dirija sobre un canal abierto, en el cual se pueda conocer la carga o cabeza (H) de la corriente sobre el vertedero (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

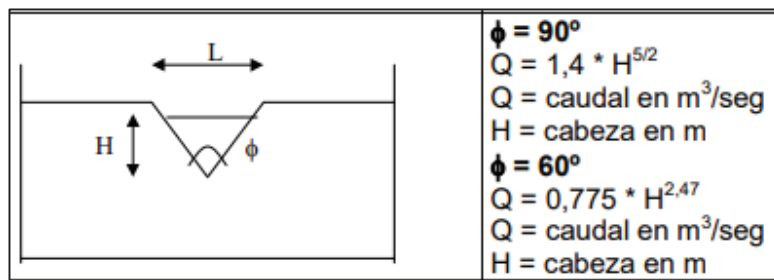


Figura 55: Dimensiones de la cámara de muestreo. Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

### 6.3.5 Lodos

Para la recolección de lodos, se propone para el sedimentador primario y los SBR un tratamiento por filtros banda, que poseen un bajo costo operativo y energético, además permitir tratamiento en continuo.

El equipo de osmosis inversa ya viene con un filtro incluido, que debe renovarse mensualmente. Los barros obtenidos de esta filtración son dispuestos directamente como residuo especial, sin un tratamiento.

Con respecto a los anteriores, se alcanza un grado de sequedad del 30%, y al poseer un gran contenido de agua (casi del 98%), se reduce en gran proporción. Teniendo en cuenta esto, los 8,3 kg/día de lodos pueden considerarse como kilogramos de agua, y utilizando la simplificación de que 1 kg de agua equivale a 1 litro, se generan aproximadamente 0,0083 m<sup>3</sup>/día de lodos primarios.

Tabla 50: Cantidad de lodos recolectados. Fuente: Elaboración propia.

	Valor (m <sup>3</sup> /día)	
	P1	P2
Sedimentador primario	--	0,0083
SBR	0,0095	0,107
Total	0,0095	0,1153

Los valores obtenidos son muy pequeños, pero sin embargo la generación de barros en la propuesta 2 es de dos órdenes de grado mayor a la propuesta 1. La mayor diferencia se da en el tanque SBR, ya que lo generado en el sedimentador primario también es insignificante.

Los lodos generados serán recolectados por un ente autorizado con una frecuencia determinada. Afortunadamente, la generación es muy reducida, por lo que se dispondrá almacenar el barro al menos durante 15 días, para así acumular una cantidad significativa.

### **6.3.6 Dimensionamiento de conducciones**

La mayoría de los sistemas de conducción de la planta de tratamiento serán cerrados para evitar riesgos hacia el ambiente y las personas. Únicamente el ingreso y egreso del líquido a cada uno de los equipos utilizarán canales para facilitar su limpieza en caso de atascamiento.

El trazado de las líneas de conducción se optimiza para reducir los puntos de bombeo necesarios, proyectando la menor longitud posible y favoreciendo el escurrimiento por gravedad. El material escogido para las tuberías es Policloruro de vinilo (PVC). Algunas de las ventajas que tiene este material son la resistencia a la corrosión interna y externa, baja formación de sarro, baja rugosidad y poco peso. Todos estos aspectos facilitan la conducción por gravedad minimizando los gastos asociados a impulsión, como también a transporte.

Para facilitar el cálculo de las conducciones se supuso que el líquido transportado es ideal, esto implica que:

- El fluido es no viscoso (se desprecia la fricción interna entre las partículas del líquido).
- Posee un flujo estacionario, por lo que la velocidad del fluido en un punto es constante con el tiempo.
- El fluido es incompresible, siendo la densidad del mismo constante con el tiempo.
- Tiene un flujo irrotacional, es decir que no presenta torbellinos.
- Flujo de régimen turbulento, lo que significa que el perfil de velocidades dentro de las conducciones está totalmente desarrollado.

## Conducciones a presión

Para la conducción a presión, las principales magnitudes geométricas de la sección transversal de una tubería son el diámetro nominal (DN), que corresponde a la designación técnica y comercial del diámetro de la tubería; el diámetro exterior (DE), que representa el máximo de sección de la tubería; y el diámetro interior (DI) que corresponde al diámetro hidráulicamente aprovechable (Becker, 2018).

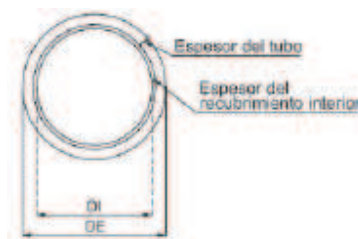


Figura 56: Sección transversal de tubería de conducción. Fuente: ENOHSA.

Para el caso de las tuberías de PVC, el DN corresponde al DE y la clase de las tuberías es lo que define el espesor de la pared y, por lo tanto, la presión máxima que la instalación puede soportar (Becker, 2018).

Según las recomendaciones de la ENOHSA (Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento), se establece una velocidad mínima de 0,5 m/seg para asegurar la autolimpieza en las tuberías y una velocidad máxima admisible de 2.5 m/seg para tuberías de PVC. Asimismo, para las conducciones por gravedad, se recomienda una pendiente mínima del 3%.

A continuación, se expone un diagrama de la planta de tratamiento en la cual se nombran las distintas secciones de cañería que conectan las operaciones unitarias.

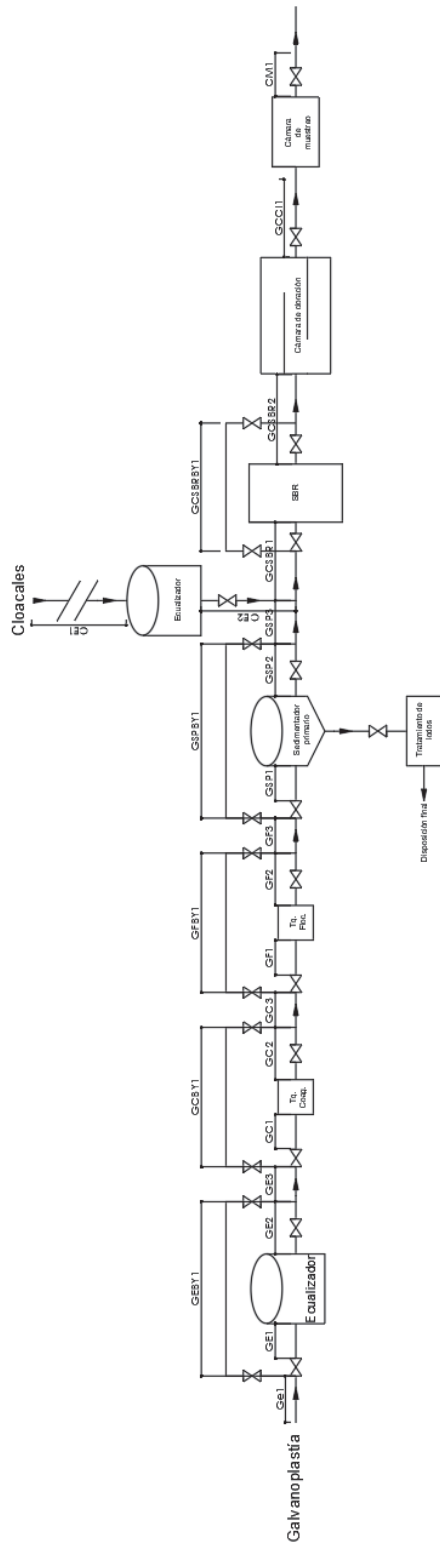


Figura 57: Esquema de la planta de tratamiento con las secciones de cañerías nombradas.

Es necesario recordar que, por el diseño propuesto de la planta de tratamiento de efluentes, no todas las secciones de cañería llevan el mismo caudal. Cabe aclarar también, que toda la sección de galvanoplastia es utilizada únicamente para la propuesta 2, ya que en la propuesta 1 no es necesaria.

Para respetar estas velocidades de flujo se establece el área mínima de la cañería en función del caudal.

$$A_{cañ\ mín} = \frac{Q_{medio}}{v_{máx}}$$

donde:

- $A_{cañ\ mín}$ : área de cañería mínima, m<sup>2</sup>.
- $v_{máx}$ : velocidad máxima recomendada en conducción, m/seg

$$D_{mín} = \sqrt{\frac{A_{cañ\ mín} * 4}{\pi}}$$

donde:

- $D_{mín}$ : diámetro mínimo, m

### Conducciones a gravedad

$$A_{mojada} = \frac{Q_{diseño}}{velocidad\ de\ escurrimiento}$$

El radio hidráulico de una tubería circular se extrae de la siguiente fórmula:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} = \left( \frac{1 - \sin\theta}{\theta} \right) \frac{D}{4}$$

donde:

- $A_m$ : área mojada, m<sup>2</sup>



- $P_m$ : perímetro mojado, m
- $D$ : diámetro, m
- $\theta$ : ángulo desde el centro del tubo hasta el pelo de agua,  $120^\circ$ .

Para una tubería parcialmente llena, las relaciones de sección mojada, perímetro mojado y radio hidráulico son las siguientes:

$$A_m = \frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$$

$$P_m = \frac{\theta D}{2}$$

$$R_h = \left(\frac{1 - \text{sin}\theta}{\theta}\right)\frac{D}{4}$$

Se estima que las cañerías de conducción a gravedad se encuentran parcialmente llenas en un 75%, como se muestra en la relación  $h/D$  es igual a 0,75. También, la velocidad adoptada para tuberías que trabajan por gravedad será de 0,5 m/seg.

Por lo tanto, la ecuación anterior quedaría de la siguiente manera,

$$A_m = 0,6319D^2$$

$$P_m = 2,0944 D$$

$$R_h = 0.3017D$$

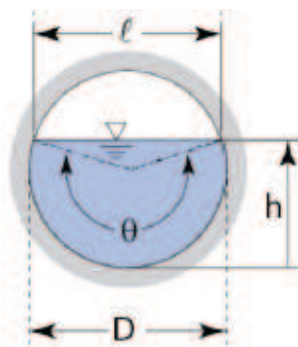


Figura 58: Dimensiones representativas de tuberías. Fuente: Google Imágenes.

Se diseña el sistema de conducción a gravedad con una pendiente igual a la mínima recomendada.

Cuando el flujo es por gravedad, se favorecen las velocidades más bajas menores de 0,5 m/s.

Conociendo el valor del radio hidráulico, se procede a calcular la velocidad de escurrimiento en conducciones por gravedad según la relación Chezy-Manning.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

donde:

- v: velocidad de flujo, m/seg
- n: coeficiente de rugosidad de Manning, 0,001
- $R_h$ : radio hidráulico, m
- S: pendiente, 1%

A partir de la velocidad obtenida según la relación de Chezy-Manning se verifica que la misma cumpla las recomendaciones, siendo este el caso para todas las secciones.

En todos los casos, se deben evitar los estancamientos de material sedimentable y el diseño adoptado deberá contemplar la velocidad mínima de transporte para verificar la condición de autolimpieza.

Tabla 51: Caudales y velocidades para conducciones que circulan por gravedad para la propuesta 1. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Caudal circulante (m <sup>3</sup> /seg)	v adoptada (m/s)	A mojada (m <sup>2</sup> )	D adoptado (mm)	Perímetro mojado (m)	Rh (m)
CE1	0.000115	0.5	0.000229	19	0.04	0.00575
GCSBR1	0.0013	0.5	0.0027	65	0.13	0.02400
GCSBR2	0.003	0.5	0.006	98	0.24995	0.204
GCCI1	0.003	0.5	0.006	98	0.24995	0.204

Tabla 52: Caudales y velocidades para conducciones que circulan por gravedad para la propuesta 2. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Caudal circulante (m <sup>3</sup> /seg)	v adoptada (m/s)	A mojada (m <sup>2</sup> )	D adoptado (mm)	Perímetro mojado (m)	Rh (m)
GE1	0.0015	0.5	0.003	68.9027	0.14431	0.02079
GF2/GSP1	0.00167	0.5	0.003333	72.6299	0.15212	0.02191
GSP2	0.00167	0.5	0.003333	72.6299	0.15212	0.02191
CE1	0.000115	0.5	0.000229	19.0437	0.03989	0.00575
GCSBR1	0.002	0.5	0.0040	79.5620	0.16663	0.02400
GCSBR2	0.0045	0.5	0.0090	119.3430	0.24995	0.03601
GCCI1	0.0045	0.5	0.0090	119.3430	0.24995	0.03601

Tabla 53: Caudales y velocidades para conducciones que circulan por impulsión para la propuesta 1. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Caudal circulante (m <sup>3</sup> /h)	Caudal circulante (m <sup>3</sup> /seg)	v adoptada (m/s)	A cañería (m <sup>2</sup> )	D adoptado (mm)
CE2	4.8	0.00133	2.5	0.000533	26.0588

Tabla 54: Caudales y velocidades para conducciones que circulan por impulsión para la propuesta 2. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Caudal circulante (m3/h)	Caudal circulante (m3/seg)	v adoptada (m/s)	A cañería (m <sup>2</sup> )	D adoptado (mm)
GE2/GC1	6	0.00167	2.5	0.000667	29.1346
GC2/GF1	6	0.00167	2.5	0.000667	29.1346
CE2	4.8	0.00133	2.5	0.000533	26.0588

### 6.3.6.1 Pérdidas de carga en las conducciones

Al circular un efluente por una tubería, existe una pérdida de carga. Tanto en sistemas de agua como en sistemas de otro tipo de fluido, el mismo pierde energía por el rozamiento continuo con la tubería y por la fricción que ocurre en el paso de accesorios o dispositivos, que serán vistos como obstáculos en la conducción. Ejemplos de accesorios pueden ser:

- La sección del tubo: a menor sección mayor pérdida de carga.
- Longitud de la cañería: a mayor longitud mayor pérdida de carga.
- Caudal de circulación: a mayor caudal mayor pérdida de carga.
- Material de la tubería: cuando más rugoso es el material mayor es la pérdida de carga.
- Tipo de fluido: según el fluido y su densidad tendremos valores distintos.

Esta pérdida de presión en el fluido puede ser calculada mediante la siguiente expresión, que describe las pérdidas continuas debido a la fricción:

$$h_{fc} = \frac{f L v^2}{D 2 g} = \frac{f 8 L Q^2}{g \pi^2 D^5}$$

donde:

- $h_{fc}$ : pérdida de carga continua, m
- $f$ : factor de fricción de fanning,
- $L$ : longitud de la cañería, m
- $D$ : Diámetro de la cañería, m
- $v$ : velocidad de escurrimiento del fluido, m/seg

- g: aceleración de la gravedad, 9,8 m/seg<sup>2</sup>
- Q: Caudal, m<sup>3</sup>/seg

En régimen turbulento el coeficiente de fricción depende del número adimensional de Reynolds (Re) y de la relación  $\epsilon/D$  siendo “ $\epsilon$ ” la rugosidad relativa (0,0015). Se obtiene del diagrama de Moody el coeficiente de fricción  $f$ .

Para conocer el factor de fricción se calcula inicialmente el número de Reynolds a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu}$$

donde:

- Re: número de Reynolds,
- $\rho$ : densidad del líquido, 995,7 kg/m<sup>3</sup>
- $\mu$ : viscosidad del líquido, 7,98x10<sup>-4</sup> kg/m.seg

Finalmente, para obtener el factor de fricción se utiliza la correlación de Haaland para tubos rugosos, que es aplicable para  $10^3 < Re < 10^8$  y  $e/D < 0,05$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f_F}} = -3.6 \log_{10} \left( \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{e}{3,7D} \right)^{10/9} \right)$$

o bien,

$$f_F = \frac{1}{\left( 3.6 * \log_{10} \left( \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon}{3.7D} \right)^{\frac{10}{9}} \right) \right)^2}$$

Para determinar la pérdida de carga total en las tuberías es necesario tener en cuenta la fricción con los accesorios a través de la siguiente relación, que describe las pérdidas de carga locales:

$$h_{fl} = \frac{k v^2}{2g}$$

donde:

- $h_{fl}$ : pérdida de carga local, m
- k: constante de fricción de accesorio.
- g: aceleración de la gravedad, 9,81 m/seg<sup>2</sup>

En la tabla a continuación se encuentran las constantes de fricción empleadas para determinar las pérdidas locales de la planta de tratamiento.

Tabla 55. Constante de fricción de accesorios.

Elemento	K
Válvula del globo, totalmente abierta	7.5
Válvula de cuña., totalmente abierta	3.8
Válvula de compuerta, totalmente abierta	0.15
Válvula de compuerta, abierta 3/4	0.85
Válvula de compuerta, abierta 1/2	4.4
Válvula de compuerta, abierta 1/4	20
Codo a 90°	0.7
Codo a 45°	0.35
Tubo en T, conducto con salida lateral	1.5
Tubo en T, conducto recto	1.6

Tabla 56: Longitud y cantidad de accesorios para cada tramo de cañería. Fuente: Elaboración propia.

Sección	Cañería Longitud aprox (m)	Accesorios								
		2		0.15		1.6		0.7	N/A	N/A
		Valvula retorno	Cantidad de válvulas retorno	Válvula de compuerta abierta	Cantidad de válvulas compuerta	T	Cantidad de T	Codo 90°	Cantidad de codos	k total
GE1	73	2		0.15	1	1.6	1	0.7	0	1.75
GF2/GSP1	2	2	1	0.15	1	1.6	2	0.7	1	6.05
GSP2	2	2	1	0.15		1.6	2	0.7		5.2
CE1	35	2		0.15		1.6		0.7		0
GCSBR1	2	2		0.15	1	1.6		0.7	1	0.85
GCSBR2	3	2	1	0.15		1.6	1	0.7	1	4.3
GCCI1	2	2		0.15		1.6		0.7		0
GE2/GC1	3	2		0.15	1	1.6		0.7	1	0.85
GC2/GF1	3	2	1	0.15	1	1.6	2	0.7	1	6.05
CE2	4	2		0.15	1	1.6		0.7	2	1.55

Tabla 57: Valores de pérdida de carga por fricción, accesorios y total para cada tramo de cañería. Fuente: Elaboración propia.

Sección	hf fricción	hf accesorios	hf total
GE1	4.975	0.167	5.142
GF2/GSP1	0.134	0.599	0.733
GSP2	0.134	0.515	0.649
CE1	5.493	0.000	5.493
GCSBR1	0.125	0.089	0.214
GCSBR2	0.136	0.593	0.729
GCCI1	0.091	0.000	0.091
GE2/GC1	2.257	0.271	2.528
GC2/GF1	2.257	1.929	4.186
CE2	3.365	0.494	3.859

Con los valores obtenidos de pérdida de carga total se debe corroborar que el fluido vaya en la dirección deseada. En los casos en los que fluye por gravedad, será determinado por la diferencia de altura hidráulica entre los tanques de las distintas operaciones unitarias, mientras que, en los conductos con bombeo, las pérdidas de fricción junto con las diferencias de altura deben ser tales que el bombeo ejercido permita la correcta circulación del fluido.

### 6.3.7.2. Altura de los tanques

Para diseñar cómo correrá el fluido por todo el sistema, es importante conocer las alturas que tendrán los niveles de agua en cada una de las operaciones unitarias con el fin de corroborar que el agua circule correctamente. Se busca que exista una diferencia de altura tal que permita la conducción por gravedad.

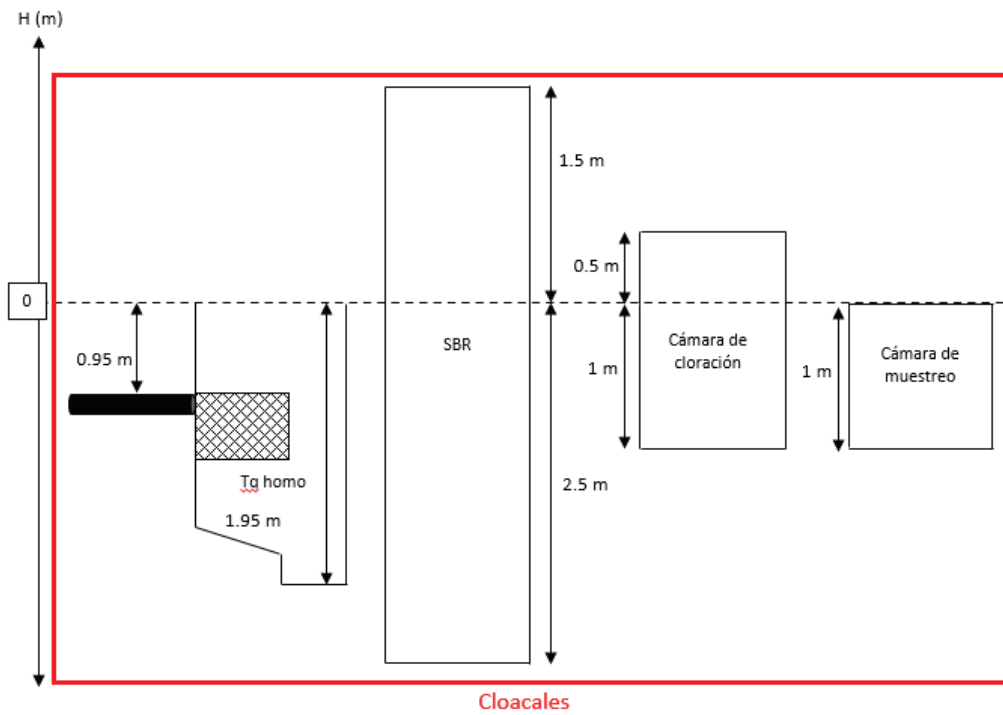


Figura 59. Perfil hídrico para la propuesta 1. Fuente: Elaboración propia.

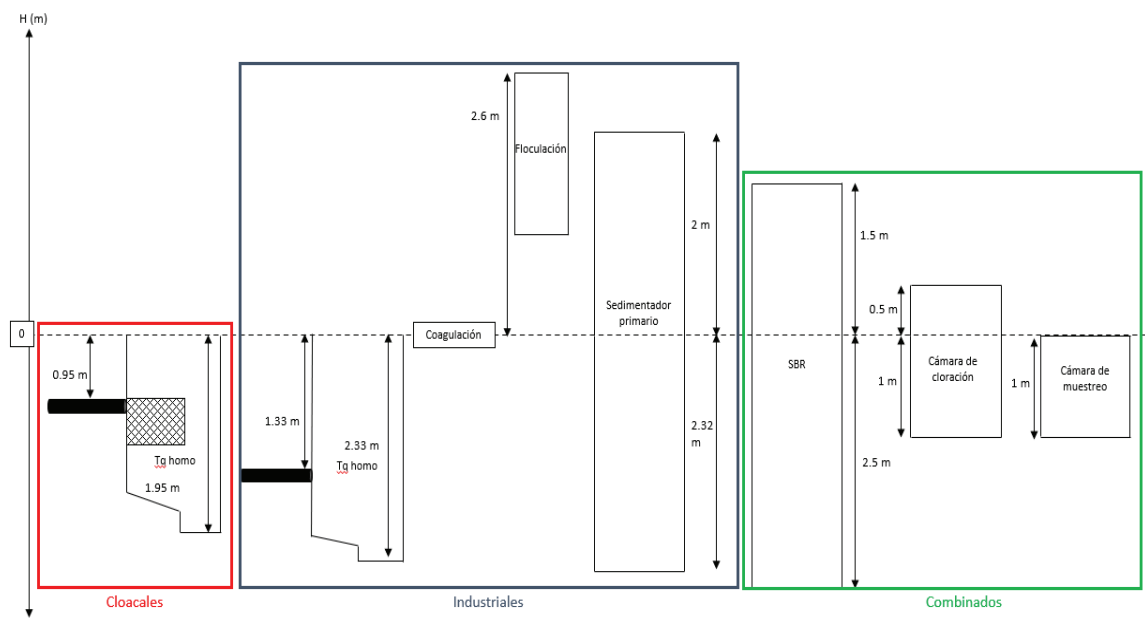


Figura 60: Perfil hídrico para la propuesta 2. Fuente: Elaboración propia.



## Ubicación de la planta de tratamiento

Una vez que se encuentran todos los equipos dimensionados, se calcula el área y el largo que ocupará el sistema de tratamiento para cada una de las propuestas. De esta manera, se puede escoger una ubicación conveniente al espacio requerido que facilite las conexiones y no interrumpa con el espacio.

Para cualquiera de las opciones de tratamiento elegidas se conocen tanto el largo como el área total que ocuparán los equipos. El equipo de osmosis inversa se colocará dentro de uno de los galpones con salida directa a la descarga, por lo tanto, no demandará espacio extra. Debajo, se indica el espacio seleccionado para la colocación de la planta.

Tabla 58: Espacio requerido para ambas propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Ubicación	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Largo (m)
Equipo de osmosis inversa	Interior	N/A	N/A
Tanque de homogeneización cloacales	Exterior	1.98	1.59
Tanque de homogeneización industriales	Exterior	6.48	2.87
Floculación	Exterior	1.72	1.48
Sedimentador primario	Exterior	2.78	1.88
SBR	Exterior	10.80	3.60
		16.2	5.4
Cloración	Exterior	1.067	1.461
		1.6	1.79

Para la propuesta 1, el espacio requerido es de 13.85 m<sup>2</sup>, y 6.65 m de largo. Mientras tanto, la propuesta 2 ocupa 30.76 m<sup>2</sup> y un largo de 15 m. Afortunadamente, la empresa posee mucho espacio abierto y la propuesta que requiere mayor extensión se limita a un largo de 15 metros, por lo que el espacio no será un factor determinante a la hora de tomar una decisión.

## **6.8 Conclusiones**

En base a todo lo expuesto en este capítulo, se concluye que el proyecto es viable técnicamente y cumple con las especificaciones requeridas por normativa. El dimensionamiento de todos los equipos está en función de las condiciones de operación de la fábrica y su espacio disponible. Además, se aplica siempre un factor de seguridad a la hora del dimensionamiento, pudiendo prevenir cualquier pico de caudal o malfuncionamiento de la fábrica.

## 7. Evaluación económica

En este capítulo se evaluará el aspecto económico de la implementación de la planta de tratamiento de efluentes diseñada en los capítulos anteriores. Para eso, se tendrán en cuenta los costos de inversión inicial necesarios para la totalidad de la planta, diferenciándolos para cada una de las propuestas. Se consideran también los costos de funcionamiento de la planta (operación, mantenimiento y otros) así como la viabilidad de la inversión. Por último, se presentará la propuesta de financiamiento de la obra.

Tabla 59: Simplificación de componentes de costos relacionados con la implementación de sistemas de tratamiento.

Costos	Actividad	
Inversión	Estudios preliminares	
	Diseño e Ingeniería	
	Nivelación de terreno	
	Construcción	
	Interventoría	
	Mano de obra calificada	
Funcionamiento	Operación y mantenimiento	Reparaciones
		Energía
		Insumos químicos
		Monitoreo y control de procesos
		Mano de obra operación técnica
	Administrativos	Mantenimiento de los equipos
		Personal administrativo
		Gastos generales

### 7.1 Inversión inicial

Los costos de inversión inicial son aquellos que representan el capital necesario para la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamientos diseñada. Entre ellos se encuentran los materiales, mano de obra, alquiler de maquinaria de construcción, y también gastos administrativos. En la inversión inicial de una obra de ingeniería de este calibre, es necesario tener en cuenta, aparte de los costos directos de construcción, otros costos que

deben ser cuantificados ya que elevan significativamente el monto de la inversión, tales como: estudios de pre-inversión (estudios técnicos necesarios para estimar la factibilidad del proyecto y realizar el diseño de las obras requeridas), interventoría (supervisión técnica de la obra en la fase de construcción), Administración, Imprevistos y Utilidades o AIU. Éste último corresponde a los costos que la firma o entidad constructora adiciona al presupuesto total de inversión como un porcentaje que fluctúa entre el 15 y 25 % y está relacionado con la complejidad de la obra, los plazos de ejecución, experiencia en proyectos similares, capacidad financiera y características de la empresa. Por razones de seguridad económica se propuso una cuota del 25%.

Los honorarios por el ejercicio profesional de ingeniería fueron calculados según lo establecido por el Colegio Profesional de Ingeniería Química de jurisdicción Nacional según lo establecido en la Resolución N° 15/12. También, se realizó un sondeo de mercado sobre sueldos y valores de equipos.

Para cada unidad de tratamiento, se incluyó la colocación y anclaje de los equipos e instrumentos, tendido y conexión eléctrica, tendido de cañerías de proceso y vinculación entre las mismas con todos los accesorios necesarios, accesorios de regulación, transición y conexiones con sus respectivos soportes. Para mayor practicidad, estos costos generalmente se agregan como un porcentaje asociado al costo unitario de cada material. Se estima que el mismo será aproximadamente el 3% del costo de inversión neto total de la planta.

Todas las terminaciones, molduras, uniones, como cualquier otra especificación que forme parte de las estructuras del sistema se ejecutarán en el material que en cada caso se indique en función del análisis estructural. Dentro del costo unitario de cada estructura o

unidad debe incluirse el costo de todas las partes accesorias complementarias. (Carballo, 2018)

Tabla 60: Cómputos y presupuestos para la propuesta 1: Equipo de osmosis inversa. Fuente: Elaboración propia.

	Descripción de los trabajos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Importe ítem	Importe rubro	% incidencia
Ítem							
1. Trabajos preliminares						\$ 3,397.88	0.055%
1.01	Limpieza del terreno	m2	34.617	\$ 115.49	\$ 3,997.88		
2. Movimiento de tierra y material						\$ 433,470.33	5.981%
2.01	Excavación para cañaleras y conducciones	m3	820	\$ 521.71	\$ 427,802.20		
2.02	Excavación para bases estructurales	m3	41.54	\$ 136.45	\$ 5,668.13		
3. Elementos estructurales						\$ 80,000.00	1.104%
3.01	Columna de hormigón armado	m3	8	\$ 10,000.00	\$ 80,000.00		
Mampostería						\$ 136,000.00	1.877%
4.01	Ladrillos	Unidad	2000	\$ 68.00	\$ 136,000.00		
Capas aisladoras						\$ 37,500.00	0.517%
5.01	Membranas	m2	125	\$ 300.00	\$ 37,500.00		
Revoques						\$ 56,000.00	0.773%
6.01	Impermeabilizante de cemento	m2	280	\$ 200.00	\$ 56,000.00		
Instalaciones eléctricas						\$ 180,970.00	2.497%
7.01	Tendido eléctrico lineal	m	205	\$ 800.00	\$ 164,000.00		
7.02	Provisión y montaje de tableros eléctricos	Servicio	1	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00		
7.03	Provisión y montaje sistema de automatización	Servicio	1	\$ 4,970.00	\$ 4,970.00		
Cañerías y accesorios						\$ 56,190.00	0.775%
9.01	Cañería PVC 70 mm	m	80	\$ 250.00	\$ 20,000.00		
9.02	Cañería PVC 110 mm	m	20	\$ 439.75	\$ 8,795.00		
9.03	Cañería PVC 25 mm	m	35	\$ 205.00	\$ 7,175.00		
9.04	Válvula antirretorno	Unidad	2	\$ 3,000.00	\$ 6,000.00		
9.05	Válvula compuerta D 1	Unidad	3	\$ 3,400.00	\$ 10,200.00		
9.06	Tubo T	Unidad	6	\$ 320.00	\$ 1,920.00		
9.07	Codo de 90	Unidad	3	\$ 700.00	\$ 2,100.00		
Equipamientos y unidades						\$ 5,888,241.83	81.247%
10.1	Malla de metal desplegable	Unidad	0	\$ 5,935.00	\$ -		
10.2	Bomba sumergible	Unidad	1	\$ 7,795.00	\$ 7,795.00		
10.4	Bombas dosificadoras de ph	Unidad	1	\$ 99,458.00	\$ 99,458.00		
10.5	Equipo de osmosis inversa	Unidad	1	\$ 2,530,000.00	\$ 2,530,000.00		
10.6	Instalación del equipo de osmosis inversa	Servicio	1	\$ 379,500.00	\$ 379,500.00		
10.7	Capacitación de los operarios para el uso del equipo de osmosis inversa	Servicio	1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00		
10.8	Equipo de carbón activado	Unidad	1	\$ 720,000.00	\$ 720,000.00		
10.9	Mezclador estático	Unidad	0	\$ 48,253.00	\$ -		
10.1	Dosificador de coagulante	Unidad	0	\$ 16,389.00	\$ -		
10.11	Turbina de mezcla de 4 paletas 45° 4HP 53 mm con moto regulador	Unidad	0	\$ 12,532.00	\$ -		
10.12	Cámara de floculación: Tanque de 2500 litros de capacidad de PVC	Unidad	0	\$ 38,400.00	\$ -		
10.13	Bomba de transferencia para lodos	Unidad	0	\$ 11,244.83	\$ 11,244.83		
10.14	Sedimentador primario	Unidad	0	\$ 300,000.00	\$ -		
10.15	Tanque SBR	Unidad	1	\$ 1,342,184.00	\$ 1,342,184.00		
10.16	Difusores	Unidad	3	\$ 5,290.00	\$ 126,960.00		
10.17	Dosificador de cloro	Unidad	1	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00		
10.18	Pastillas de cloro	Unidad	5	\$ 4,000.00	\$ 20,000.00		
Honorarios						\$ 375,000.00	5.174%
11.01	Elaboración del informe de ingeniería	Servicio	1	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00		
11.02	Limpieza y final de obra	Servicio	1	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00		
11.03	Elaboración de planos	Servicio	1	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00		
11.04	Supervisión y capacitación	Servicio	1	\$ 65,000.00	\$ 65,000.00		
11.05	Licencia, permisos y seguros	Servicio	1	\$ 60,000.00	\$ 60,000.00		
Entrega final de planta							
12.01	Puesta en marcha	Servicio	1	\$ 400,000.00	\$ 400,000.00		
12.02	Revisión y ajuste	Servicio	1	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00		
	NETO					\$ 7,247,370.04	
	ESTIMADO (incluye AIU 25%)					\$ 9,059,212.55	

Tabla 61: Cómputos y presupuestos para la propuesta 2: Coagulación, floculación y sedimentador primario. Fuente:

Elaboración propia.

Ítem	Descripción de los trabajos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Importe ítem	Importe rubro	% incidencia	
1. Trabajos preliminares							\$ 8,881.64	0.176%
1.01	Limpieza del terreno	m2	76.304	\$ 115.43	\$ 8,881.64			
2. Movimiento de tierra y material							\$ 356,320.86	7.071%
2.01	Excavación para canalas y conducciones	m3	660	\$ 521.71	\$ 344,328.60			
2.02	Excavación para bases estructurales	m3	92.28	\$ 136.45	\$ 12,592.26			
3. Elementos estructurales							\$ 80,000.00	1.585%
3.01	Columna de hormigón armado	m3	8	\$ 10,000.00	\$ 80,000.00			
Mampostería							\$ 306,000.00	6.062%
4.01	Ladrillos	Unidad	4500	\$ 68.00	\$ 306,000.00			
Capas aisladoras							\$ 120,000.00	2.377%
5.01	Membranas	m2	400	\$ 300.00	\$ 120,000.00			
Revoques							\$ 88,000.00	1.743%
6.01	Impermeabilizante de cemento	m2	440	\$ 200.00	\$ 88,000.00			
Instalaciones eléctricas							\$ 177,940.00	3.525%
7.01	Tendido eléctrico lineal	m	165	\$ 800.00	\$ 132,000.00			
7.02	Provisión y montaje de tableros eléctricos	Servicio	3	\$ 12,000.00	\$ 36,000.00			
7.03	Provisión y montaje sistema de automatización	Servicio	2	\$ 4,970.00	\$ 9,940.00			
Cañerías y accesorios							\$ 92,528.75	1.833%
3.01	Cañería PVC 70 mm	m	115	\$ 250.00	\$ 28,750.00			
3.02	Cañería PVC 110 mm	m	25	\$ 439.75	\$ 10,993.75			
3.03	Cañería PVC 25 mm	m	45	\$ 205.00	\$ 9,225.00			
3.04	Válvula antirretorno	Unidad	5	\$ 3,000.00	\$ 15,000.00			
3.05	Válvula compuerta D 1	Unidad	6	\$ 3,400.00	\$ 20,400.00			
3.06	Tubo T	Unidad	8	\$ 320.00	\$ 2,560.00			
3.07	Codo de 90	Unidad	8	\$ 700.00	\$ 5,600.00			
Equipamientos y unidades							\$3,442,216.83	68.197%
10.1	Malla de metal desplegable	Unidad	2	\$ 5,595.00	\$ 11,190.00			
10.2	Bomba sumergible	Unidad	2	\$ 7,795.00	\$ 15,590.00			
10.4	Bombas dosificadoras de ph	Unidad	3	\$ 99,458.00	\$ 298,374.00			
10.5	Equipo de osmosis inversa	Unidad	0	\$ 2,530,000.00	\$ -			
10.6	Instalación del equipo de osmosis inversa	Servicio	0	\$ 373,500.00	\$ -			
10.7	Capacitación de los operarios para el uso del equipo de osmosis inversa	Servicio	0	\$ 50,000.00	\$ -			
10.8	Equipo de carbón activado	Unidad	0	\$ 720,000.00	\$ -			
10.9	Mezclador estático	Unidad	1	\$ 48,253.00	\$ 48,253.00			
10.1	Dosificador de coagulante	Unidad	1	\$ 16,389.00	\$ 16,389.00			
10.11	Turbina de mezcla de 4 paletas 45' 4HP 53 mm con moto regulador	Unidad	1	\$ 12,532.00	\$ 12,532.00			
10.12	Cámara de floculación: Tanque de 2500 litros de capacidad de PVC	Unidad	1	\$ 38,400.00	\$ 38,400.00			
10.13	Bomba de transferencia para lodos	Unidad	1	\$ 11,244.83	\$ 11,244.83			
10.14	Sedimentador primario	Unidad	1	\$ 900,000.00	\$ 900,000.00			
10.15	Tanque SBR	Unidad	1	\$ 1,342,184.00	#####			
10.16	Difusores	Unidad	24	\$ 5,290.00	\$ 126,960.00			
10.17	Dosificador de cloro	Unidad	1	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00			
10.18	Pastillas de cloro	Unidad	5	\$ 4,000.00	\$ 20,000.00			
Honorarios							\$ 375,000.00	7.429%
11.01	Elaboración del informe de ingeniería	Servicio	1	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00			
11.02	Limpieza y final de obra	Servicio	1	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00			
11.03	Elaboración de planos	Servicio	1	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00			
11.04	Supervisión y capacitación	Servicio	1	\$ 65,000.00	\$ 65,000.00			
11.05	Licencia, permisos y seguros	Servicio	1	\$ 60,000.00	\$ 60,000.00			
Entrega final de planta								
12.01	Puesta en marcha	Servicio	1	\$ 400,000.00	\$ 400,000.00			
12.02	Revisión y ajuste	Servicio	1	\$ 100,000.00	\$ 100,000.00			
NETO							\$5,047,488.09	
ESTIMADO (incluye AIU 25%)							\$ 6,309,360.11	

Inversión Inicial Propuesta 1: Equipo OI	Inversión Inicial Propuesta 2: Coagulación, Floculación y Sedimentador primario.
\$ 9,059,212.55	\$ 6,309,360.11

## **7.2 Costos de operación y mantenimiento**

Son los costos propios del funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes para garantizar el buen desempeño de las operaciones y procesos de la misma y asegurar que las instalaciones sean operadas y mantenidas eficientemente. En los sistemas de tratamiento, los costos de operación y mantenimiento están principalmente influenciados por los requerimientos de la tecnología. Los factores que determinan los costos de operación y mantenimiento de una instalación de tratamiento de efluentes están asociados a la complejidad de la tecnología utilizada. (Carballo, 2018)

Estos requerimientos son:

- Energía eléctrica.
- Insumos químicos.
- Personal de operación.
- Mantenimiento de las instalaciones y gastos de administración.
- Costo de disposición de residuos

### **7.2.1 Energía eléctrica**

Se realizó un cálculo aproximado del consumo energético de cada uno de los equipos para luego multiplicarlo por el valor unitario de la energía. Se confeccionó este estimado para ambas propuestas. Dentro del estimado se consideraron gastos de consumo energético tales como iluminación del área, conexión de dosificadores, medidores eléctricos, computadoras, y sistemas de control, entre otros.

Para obtener los valores unitarios de la energía, se consulta con el cuadro tarifario de la distribuidora de energía eléctrica Empresa Distribuidora La Plata S.A. (EDELAP), y la

compañía abastecedora de energía a EDELAP, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA).

A partir de la Resolución MIYSPGP N°439/2021, según lo establecido en el capítulo N°4 del régimen tarifario incluido en el contrato de concesión, la empresa distribuidora EDELAP S.A. informa a sus clientes los nuevos precios por suministro eléctrico. El precio de la factura de EDELAP está compuesto por un cargo fijo más un cargo variable. Para usuarios industriales, la energía se factura en tres bandas horarias durante el día:

- Horas pico (o punta): Horas durante las cuales el sistema está muy solicitado y, por ende, más caro. En general de 18 a 23 hs.
- Horas valle (o nocturnas): Horas durante las cuales el sistema está menos solicitado y, por ende, más barato.
- Horas resto: El resto de las horas que no corresponden a ninguna de las otras dos categorías, con costo intermedio.

A partir de la factura de EDELAP provista por la empresa, se conocieron los valores de energía consumidos en los estados de valle, resto y pico en el mes de abril 2021. También, se muestra el valor del kWh para cada una de las bandas. Por otro lado, se considera únicamente la potencia pico por transporte, ya que ese valor es en función de la potencia instalada de la fábrica. Incorporar nuevos equipos hará que la potencia instalada aumente, generando un mayor costo en las nuevas facturas.



Tabla 62: Valores consumido por fábrica en abril 2021. Fuente: Factura EDELAP 2021

Ítem	Valor consumido por fábrica en abril 2021 (kWh/mes)	% de consumo total
Energía Pico	20940	18%
Energía Valle	20952	18%
Energía Resto	75408	64%
Total	117300	

A continuación, se detallan los valores por kWh según banda.

Tabla 63: Valor por kWh para cada una de las bandas horarias. Fuente: Factura EDELAP 2021

Cargo	Unidad	Valor unitario
Cargo fijo	\$/mes	5,965.58
Potencia pico por transporte	\$/kW*mes	272.627
Cargo variable pico	\$/kWh	0.4259
Cargo variable resto	\$/kWh	0.4088
Cargo variable valle	\$/kWh	0.3916

También, para conocer el consumo mensual de energía por parte del mismo, se realizaron los siguientes cálculos:

$$Energía\ consumida \left( \frac{kWh}{mes} \right) = Potencia\ (kW) * \frac{horas\ de\ uso}{día} * \frac{días}{mes}$$

Tabla 64: Consumo mensual para cada uno de los equipos a instalar. Fuente: Elaboración propia.

Consumo eléctrico mensual				
Elemento	Potencia (kW)	Horas de uso por día (h/día)	Consumo diario (kWh/día)	Consumo mensual (kWh/mes)
Equipo OI	2.2	24	52.8	1584
Bomba sumergible	0.55	2	1.1	33
Dosificador de cloro	0.12	10	1.2	36
Regulador pH	0.4	24	9.6	288
Turbina de 4 paletas	0.37	10	3.7	111
Bomba para lodos	1.5	10	15	450
Mezclador estático	0.4	9	3.6	108
Tanque SBR	15	24	360	10800
Difusores	0.3	24	7.2	216

Tabla 65: Consumo energético mensual según la banda de consumo. Fuente: Elaboración propia.

Valores estimados de consumo eléctrico (kW/mes)			
Equipo	Energía Pico	Energía Resto	Energía Valle
Osmosis Inversa	282.8	282.9	1018.3
Bomba sumergible	5.9	5.9	21.2
Dosificador cloro	6.4	6.4	23.1
Regulador pH	51.4	51.4	185.1
Turbina de 4 paletas	19.8	19.8	71.4
Bomba para lodos	80.3	80.4	289.3
Mezclador estático	19.3	19.3	69.4
Tanque SBR	1928.0	1929.1	6942.9
Difusores	38.6	38.6	138.9

Tabla 66: Costos de la energía eléctrica consumida mensualmente. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Costos de energía eléctrica					
	Cargo	Unidad	Precio un. (\$)	Valor	Prop 1 (\$)	Prop 2 (\$)
Cargo fijo	Cargo fijo	\$/mes	5965.58	1.00	5965.58	5965.58
Osmosis Inversa	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	2.20	599.78	--
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	120.43	51.29	--
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	115.66	47.28	--
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	398.77	156.16	--
Bomba sumergible	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	0.55	299.89	449.83
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	2.51	2.14	3.21
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	2.41	1.97	2.96
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	8.31	6.51	9.76
Dosificador de coagulante	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	0.12	--	32.72
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	2.74	--	1.17
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	2.63	--	1.07
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	9.06	--	3.55
Dosificador de pH	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	0.40	109.05	218.10
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	21.90	9.33	18.65
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	21.03	8.60	17.19
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	72.50	28.39	56.78
Turbina de 4 paletas	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	0.37	--	100.87
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	8.44	--	3.59
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	8.11	--	3.31
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	27.94	--	10.94
Bomba para lodos	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	1.50	--	408.94
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	34.21	--	14.57
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	32.86	--	13.43
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	113.29	--	44.36
Mezclador estático	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	0.40	--	109.05
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	8.21	--	3.50
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	7.89	--	3.22
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	27.19	--	10.65
Tanque SBR	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	15.00	4089.41	4089.41
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	821.13	349.72	349.72
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	788.61	322.38	322.38
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	2718.85	1064.70	1064.70
Difusores	Potencia pico p/ transporte	\$/kW*mes	272.63	0.30	81.79	81.79
	Cargo variable pico	\$/kWh	0.43	16.42	6.99	6.99
	Cargo variable resto	\$/kWh	0.41	15.77	6.45	6.45
	Cargo variable valle	\$/kWh	0.39	54.38	21.29	21.29
				TOTAL	13228.69	13449.75

## **7.2.2 Insumos químicos**

En estas propuestas, son necesarios insumos químicos para la regulación del pH en la cámara de compensación, para los procesos de coagulación y floculación, además de la desinfección. En función del caudal a ser tratado, se estimó que se necesitan al menos 1 litro/día de coagulante y floculante. Luego, para la regulación del pH, al tratarse de un efluente ácido, se utilizan alrededor de 0.6 l/día de base fuerte. Para la desinfección se utiliza hipoclorito de sodio, donde se requieren aproximadamente 0.8 kg/día.

Además, se calculan las membranas y filtros que se deben ir reemplazando continuamente en el equipo de OI. Para algunas la frecuencia de recambio es de 1 vez por mes, aunque en el carbón activado puede llegar a durar hasta dos meses.

Tabla 67: Costos mensuales en insumos químicos. Fuente: Elaboración propia.

Insumo	Precio unitario (\$/litros)	Propuesta 1: Equipo OI		Propuesta 2: Coag+Floc+Sed 1	
		Consumo mensual (litros)	Costo mensual (\$)	Consumo mensual (litros)	Costo mensual (\$)
Coagulante	640	--	--	31	19,840.00
Floculante	268	--	--	31	8,308.00
Base Fuerte 1M	650	18.6	12,090.00	18.6	12,090.00
Insumo	Precio unitario (\$/kg)	Consumo mensual (kilos)	Costo mensual (\$)	Consumo mensual (kilos)	Costo mensual (\$)
Hipoclorito de sodio	695	24.8	17,236	24.8	17,236
Insumo	Precio unitario (\$/un)	Consumo mensual (un)	Costo mensual (\$)	Consumo mensual (kilos)	Costo mensual (\$)
Filtro de sedimentos OI	15000	1	15,000.00	--	--
Filtros de carbón activado	720000	0.5	360,000.00	--	--
Membrana de osmosis inversa	3600	16	57,600.00	--	--
Mantenimiento del equipo OI	10000	1	10,000.00	--	--
		TOTAL	\$ 471,926.00	TOTAL	\$ 57,474.00

### 7.2.3 Mano de obra

Este costo operacional está relacionado con el trabajo que realiza el jefe de la planta de tratamiento y un asistente técnico, ya que de la parte eléctrica se encarga el personal de mantenimiento de la empresa. Además, para realizar los análisis en el laboratorio de la fábrica, se necesita de un asistente de laboratorio con formación técnica. Los costos mensuales que se calculan se disponen en la tabla debajo.

Tabla 68: Sueldos por mes para el personal encargado de trabajar con la planta de tratamientos. Fuente: Elaboración propia.

Profesional	Remuneración
Jefe de planta	\$ 150,000.00
Técnico químico	\$ 100,000.00
Técnico eléctrico	\$ 80,000.00
Total	\$ 330,000.00

## 7.2.4 Mantenimiento de las instalaciones y gastos de administración

Estos tipos de gastos son variables en el tiempo y esporádicos. Se determina cierto porcentaje de los costos operativos totales para cada uno de estos gastos. Para los costos de mantenimiento de las unidades, se establece un 25% de los costos totales operativos, mientras que los costos administrativos y legales, representan un 8%.

Tabla 69: Costos administrativos para el mantenimiento de las instalaciones y administrativos. Fuente: Elaboración propia.

Propuesta	Mantenimiento (\$/mes)	Administrativos y legales (\$/mes)	Total (\$/mes)
1	108,414.84	34,692.75	433,659.37
2	176,658.16	56,530.61	706,632.65

## 7.2.5 Costos de disposición de lodos

Dentro de los costos operativos de la planta de tratamiento de efluentes se debe considerar la generación de lodos total, que deben ser dispuestos acorde a las regulaciones gubernamentales. El costo de disposición de los mismos es de 50 \$/kg. El costo total de disposición se presenta en la tabla debajo.

Tabla 70: Costos mensuales de disposición de lodos. Fuente: Elaboración propia.

Opción	Cantidad de lodo generado (kg/mes)	Valor unitario (\$/kg)	Costo de disposición (\$/mes)
Propuesta 1	588.49	50	29,424.68
Propuesta 2	1615.44	50	80,771.83

## 7.2.6 Rechazo de Osmosis inversa

Tal como se mencionó en el capítulo donde se presentan las alternativas a utilizar, la osmosis inversa tiene una gran eficiencia a la hora de la remoción de metales pesados. Sin embargo, la principal desventaja es el grado de rechazo que presenta. Se establece que 2/3 de lo que entra al equipo, sale como rechazo.

Tabla 71: Costos mensuales de rechazo por el equipo de OI. Fuente: Elaboración propia.

Caudal a tratar por OI (m3/mes)	Proporción de rechazo	Cantidad de rechazo (m3/mes)	Valor de rechazo (\$/mes)
950.4	0.67	633.6	31680

TOTAL OPERATIVO Y MANTENIMIENTO PROPUESTA 1: Equipo de Osmosis Inversa	\$ 1,752,518.74
TOTAL OPERATIVO Y MANTENIMIENTO PROPUESTA 2: Coagulación, Floculación y Sedimentador primario	\$ 963,391.17

## 7.3 Viabilidad y financiamiento

Debido al alto valor de las opciones presentadas, se debe recurrir a financiación externa para poder llevar a cabo el proyecto. El Consejo Federal de Inversiones (CFI) a través de su órgano financiero, el Fondo Federal de Inversiones (FFI), asiste crediticiamente a las microempresas y pymes de sectores productivos de las provincias argentinas. (Consejo Federal de Inversiones, s.f.)

Una de las características del funcionamiento del FFI es la diversidad de actividades productivas financiadas en todas las provincias -turismo y servicios, bioeconomía, eficiencia energética, desarrollo de software, ganadería, producción frutícola, alimentos y bebidas, agricultura, servicios agropecuarios, transporte de cargas, metalmecánica, entre otras- y la significativa cobertura geográfica con los créditos del CFI que supera el 95% del total de departamentos de todo el país, lo que demuestra claramente el sentido de aplicación federal de los recursos y la federalización de la producción nacional. (Consejo Federal de Inversiones, s.f.)

El financiamiento otorgado se ha dirigido mayoritariamente a acompañar el desarrollo y fortalecimiento de las economías regionales con el fin de aumentar la productividad, disminuir los costos productivos y mejorar la competitividad. (Consejo Federal de Inversiones, s.f.)

La metodología de trabajo está basada en la evaluación técnica, económica y financiera de los proyectos a financiar. (Consejo Federal de Inversiones, s.f.)

Con el objeto de fortalecer el desarrollo de las actividades productivas regionales a través del mejoramiento competitivo de sus sistemas de producción y venta, el CFI ofrece financiamiento a microempresas y pymes. (Consejo Federal de Inversiones, s.f.)

Los detalles del crédito son los siguientes:

- Objeto: Los créditos serán otorgados a personas humanas o jurídicas con un patrimonio igual o superior a \$ 3.000.000.- (Consejo Federal de Inversiones, s.f.)
- Destino de los créditos: Capital de trabajo, Activo fijo, Pre-inversión.



- Monto: Se tendrá en cuenta el valor de las ventas anuales (en pesos) promedio de los tres últimos estados contables (sin IVA, impuestos internos y descontando el 75% del monto de las exportaciones):
  - Agropecuario: \$1.099.020.000
  - Industria y minería: \$3.955.200.000
  - Turismo y servicios: \$940.220.000
  - Hasta el 80% de la inversión a realizar.
  - Monto máximo: \$ 10.000.000.
  - Para capital de trabajo o pre-inversión \$ 3.000.000.-
  - Plazo máximo de amortización ochenta y cuatro (84) meses, con un máximo de veinticuatro (24) meses de gracia.

## 7.4 Conclusiones

Según lo que se presentó en este capítulo acerca de la viabilidad económica de cada una de las propuestas, se observa que todos los costos, tanto de inversión como de mantenimiento general son mayores para la Propuesta 1 de osmosis inversa. En el único aspecto en que la propuesta con coagulación, floculación y sedimentador primario (1) es más costosa que la de osmosis inversa (2) es en la disposición de residuos, ya que se consideran los barros generados por el sedimentador primario, un factor de bajo valor para el equipo de osmosis inversa. La mayor diferencia entre una propuesta y otra radica en la inversión inicial, dado el excesivo costo del equipo de osmosis inversa sumado a la necesidad de importación del mismo. Además, este requiere de mano de obra especializada, que por lo general es prestada por el fabricante. La frecuencia de reemplazo de los equipos también es muy elevada, incrementando los costos de mantenimiento para la propuesta 1.

## **8. Selección del tren de tratamiento definitivo**

### **8.1 Criterios de comparación para el tren de tratamiento**

En base a todos los capítulos presentados anteriormente, se recopilan dichos conceptos y se selecciona la propuesta más conveniente para este proyecto. Recordar que el principal propósito de este trabajo es proveer de una nueva planta de tratamiento de efluentes donde el líquido cumpla con las condiciones de vuelco apropiadas.

Para el análisis, se consideraron 3 criterios principales:

- Cumplimiento de las condiciones de vuelco.
- Superficie ocupada.
- Inversión inicial y de mantenimiento.

#### **8.1.1 Cumplimiento de las condiciones de vuelco**

Es el principal punto a analizar a la hora de comparar ambos tratamientos, dada la importancia del cumplimiento de los valores de vuelco con la normativa.

##### **8.1.1.1 Propuesta 1**

En las Tablas 71 y 72 se presentan los valores de los parámetros más relevantes en la entrada y salida del sistema de tratamiento de la Propuesta 1. En base a los tratamientos elegidos, el porcentaje de remoción ronda el 98%, por lo tanto, se estima el valor de salida del efluente. Para cada uno de los tipos de efluente, tanto industrial como cloacal, se seleccionaron los parámetros que no cumplían con los parámetros de vuelco, y se les aplicó el 98% de remoción. De esta manera se demuestra que, con este tratamiento, el efluente concluiría en condiciones aptas.

Tabla 72: Parámetros de vuelco para efluentes de origen industrial con la Propuesta 1.

Parámetro	Unidad	Normativa	Resolución	Ingreso	Egreso
Conduc.	μS/cm	1800	778/96 HTA	4041.25	80.83
Zn	mg/l	2	336/03 ADA	2.15	0.04
Fe	mg/l	2	336/03 ADA	2.76	0.06
Pb	mg/l	0.31	336/03 ADA	1	0.02
Boro	mg/l	2	336/03 ADA	2.59	0.05
Nitratos	mg/l	45	778/96 HTA	70.25	1.41
DQO	mg/l	250	336/03 ADA	4000	80.00
DBO	mg/l	50	336/03 ADA	1500	30.00

Tabla 73: Parámetros de vuelco para efluentes de origen cloacal con la Propuesta 1.

Parámetro	Unidad	Normativa	Resolución	Ingreso	Egreso
DQO	mg/l	50	336/03 ADA	220	4.40
DBO	mg/l	250	336/03 ADA	500	10.00
Nitrógeno	mg/l	35	336/03 ADA	40	0.80
Orgánico	mg/l	10	336/03 ADA	15	0.30
Amoníaco libre	mg/l	25	336/03 ADA	25	0.50
Fósforo	mg/l	1	336/03 ADA	8	0.16

### 8.1.1.2 Propuesta 2

Para este caso, se compara de la misma manera que a la propuesta anterior, pero, teniendo en cuenta una menor precisión que en el tratamiento de osmosis inversa, se establece que el porcentaje de remoción es de 95%.

Tabla 74: Parámetros de vuelco para efluentes de origen industrial con la Propuesta 2.

Parámetro	Unidad	Normativa	Resolución	Ingreso	Egreso
Conduc.	μS/cm	1800	778/96 HTA	4041.25	202.06
Zn	mg/l	2	336/03 ADA	2.15	0.11
Fe	mg/l	2	336/03 ADA	2.76	0.14
Pb	mg/l	0.31	336/03 ADA	1	0.05
Boro	mg/l	2	336/03 ADA	2.59	0.13
Nitratos	mg/l	45	778/96 HTA	70.25	3.51
DQO	mg/l	250	336/03 ADA	4000	200.00
DBO	mg/l	50	336/03 ADA	1500	75.00

Tabla 75: Parámetros de vuelco para efluentes de origen cloacal con la Propuesta 2.

Parámetro	Unidad	Normativa	Resolución	Ingreso	Egreso
DBO	mg/l	50	336/03 ADA	220	11
DQO	mg/l	250	336/03 ADA	500	25
Nitrógeno	mg/l	35	336/03 ADA	40	2
Orgánico	mg/l	10	336/03 ADA	15	0.75
Amoníaco libre	mg/l	25	336/03 ADA	25	1.25
Fósforo	mg/l	1	336/03 ADA	8	0.4

Se puede observar que, en la tabla de industriales, el valor de DBO está por encima de lo permitido. Sin embargo, para los efluentes cloacales queda una concentración mínima, que al mezclarse con los anteriores diluye la solución generando que el valor entre en el rango de vuelco permitido.

### 8.1.1.3 Conclusión

Se puede concluir que en ambos casos se logra el cumplimiento de los parámetros de vuelco y con cierto margen que permite que, ante cualquier eventualidad, el sistema continuará respondiendo correctamente. Sin duda, los valores de vuelco para la Propuesta 1 serán menores que en la Propuesta 2 debido a la eficiencia en la remoción. Sin embargo, siempre y cuando los valores estén por debajo de la normativa, son considerados adecuados.

### 8.1.2 Superficie ocupada

En esta sección se cuantifica la superficie mínima ocupada por cada alternativa, teniendo en cuenta únicamente los procesos que son exclusivos de cada una. El pozo de bombeo, y el tratamiento terciario, comunes a ambos, no se incluyen en el análisis. Para simplificar el análisis, no se ha contemplado la superficie real de implantación, es decir los márgenes de seguridad a emplear en los alrededores de cada unidad (Sandri, 2021).

### 8.1.2.1 Propuesta 1

El tren para la propuesta 1 cuenta con cuatro unidades principales: el equipo de osmosis inversa, el tanque de homogeneización de cloacales, el tanque SBR y la cloración. En la Tabla 76 se describen las superficies mínimas de cada unidad. Cabe destacar que el equipo de osmosis inversa se ubicará dentro del galpón de galvanoplastía, por lo tanto, no ocupará nueva superficie.

Tabla 76: Superficie mínima requerida para la propuesta 1.

Elemento	Ubicación	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Largo (m)
Equipo de osmosis inversa	Interior	N/A	N/A
Tanque de homogeneización cloacales	Exterior	1.98	1.59
SBR	Exterior	10.80	3.60
Cloración	Exterior	1.067	1.461
	TOTAL	13.85	6.65

### 8.1.2.2 Propuesta 2

El tren para la propuesta 2 cuenta con seis principales unidades: el tanque de homogeneización de cloacales y el de industriales, la cámara de floculación, el tanque SBR y la cloración. En la Tabla 77 se describen las superficies mínimas de cada unidad.

Tabla 77: Superficie mínima requerida para la propuesta 2.

Elemento	Ubicación	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Largo (m)
Tanque de homogeneización cloacales	Exterior	1.98	1.59
Tanque de homogeneización industriales	Exterior	6.48	2.87
Floculación	Exterior	1.72	1.48
Sedimentador primario	Exterior	2.78	1.88
SBR	Exterior	16.2	5.4
Cloración	Exterior	1.6	1.79
	TOTAL	30.76	15.01

### 8.1.2.3 Conclusión

Luego de analizar las propuestas presentadas, se concluye que la diferencia entre ambas es reducida y asimismo irrelevante, teniendo en cuenta la disponibilidad de terreno de la empresa para llevar a cabo cualquier tipo de mejora.

Es sabido que a menor área el tratamiento requerirá de menos mano de obra, y por lo tanto será menos costoso. Sin embargo, estos valores no afectan significativamente al valor total del proyecto por lo que este criterio no inclinará la balanza hacia ningún lado.

### 8.1.3 Inversión inicial y de costo de mantenimiento.

El último y más importante aspecto a considerar es el costo de la construcción y operación de la nueva planta de tratamiento. En esta sección se realiza el análisis económico teniendo en cuenta todas las unidades de tratamiento implicadas, incluyendo las que son comunes a ambas propuestas.

Para evaluar las alternativas, se consideró un presupuesto económico de inversión a 3 años. A fines de simplificar el análisis, no se consideraron los ajustes por inflación.

#### 8.1.3.1 Propuesta 1

En la Tabla 78 se presenta el resumen de los costos estimados para la Propuesta 1.

Tabla 78: Resumen del presupuesto económico para la propuesta 1.

Propuesta 1	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión Inicial	\$ 9,059,212.55			
Costos de mantenimiento		\$ 21,030,224.87	\$ 21,030,224.87	\$ 21,030,224.87
TOTAL acumulado	\$ 9,059,212.55	\$ 30,089,437.42	\$ 51,119,662.29	\$ 72,149,887.17

### 8.1.3.2 Propuesta 2

En la Tabla 79 se presenta el resumen de los costos estimados para la Propuesta 2.

Tabla 79: Resumen del presupuesto económico para la propuesta 2.

Propuesta 2	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión Inicial	\$ 6,309,360.11			
Costos de mantenimiento		\$ 11,560,694.03	\$ 11,560,694.03	\$ 11,560,694.03
TOTAL acumulado	\$ 6,309,360.11	\$ 17,870,054.14	\$ 29,430,748.16	\$ 40,991,442.19

### 8.1.3.3 Conclusión

Las tablas comparativas presentadas anteriormente sirven para definir finalmente cuál será el método a utilizar. Los dos primeros criterios presentados arrojan resultados muy similares entre ambas propuestas, pero el presupuesto económico es el que marca la mayor diferencia. Tanto en la inversión como en el mantenimiento, la Propuesta 1 es notoriamente mayor a la Propuesta 2. Para la inversión inicial, la Propuesta 1 es un 50% mayor a la Propuesta 2, mientras que, en el mantenimiento, la brecha es casi de un 100%.

## 8.2 Ponderación de los criterios

En base al criterio del cliente expuesto anteriormente, se asigna una ponderación para cada uno de los parámetros evaluados. Se considera una puntuación de 1 a 10 en la que 1 es “insuficiente/malo” y 10 es “excelente/muy bueno”. Desestimamos el parámetro 1 ya que se considera indistinto siempre que cumpla con la normativa.

Tabla 80: Ponderación de los criterios.

Parámetros	Ponderación	Propuesta 1	Propuesta 2
1. Cumplimiento de condiciones de vuelco	0%	10	5
2. Espacio utilizado	20%	10	5
3. Presupuesto	80%	5	10
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>6</b>	<b>9</b>

### 8.3 Conclusión

En función a todo lo desarrollado, se puede concluir que el sistema de tratamiento que mejor resulta para los criterios de comparación y que se adapta a las necesidades de la empresa es la propuesta 2. Esto se debe a que al igual que la otra alternativa, cumple los criterios de vuelco y de espacio, pero tiene un menor costo de inversión y de mantenimiento. Además, por no ser equipos de alta precisión como los de osmosis inversa, puede ser mantenida exclusivamente por el personal de mantenimiento de la empresa y no por técnicos externos. Por último, se puede adaptar mucho a la variabilidad en la generación del efluente.



## 9. Planos

Se elaboraron los siguientes planos para la planta de tratamiento seleccionada, que es la propuesta con los procesos de coagulación, floculación y sedimentación primaria.

1. Vista superior de la implantación general de la planta.
2. Vista frontal de la implantación general de la planta.
3. Vista del sedimentador primario.
4. Vista de la cámara de cloración.
5. Vista del tanque de homogeneización.
6. Vista del tanque SBR.

La ingeniería de los planos es básica ya que lo que se busca es tomarlo como referencia, y no como algo exacto. Se busca plasmar los resultados obtenidos en la memoria de cálculo. Cuando llegue el momento de la implantación definitiva, se realizará una ingeniería más en detalle y unos planos más precisos.

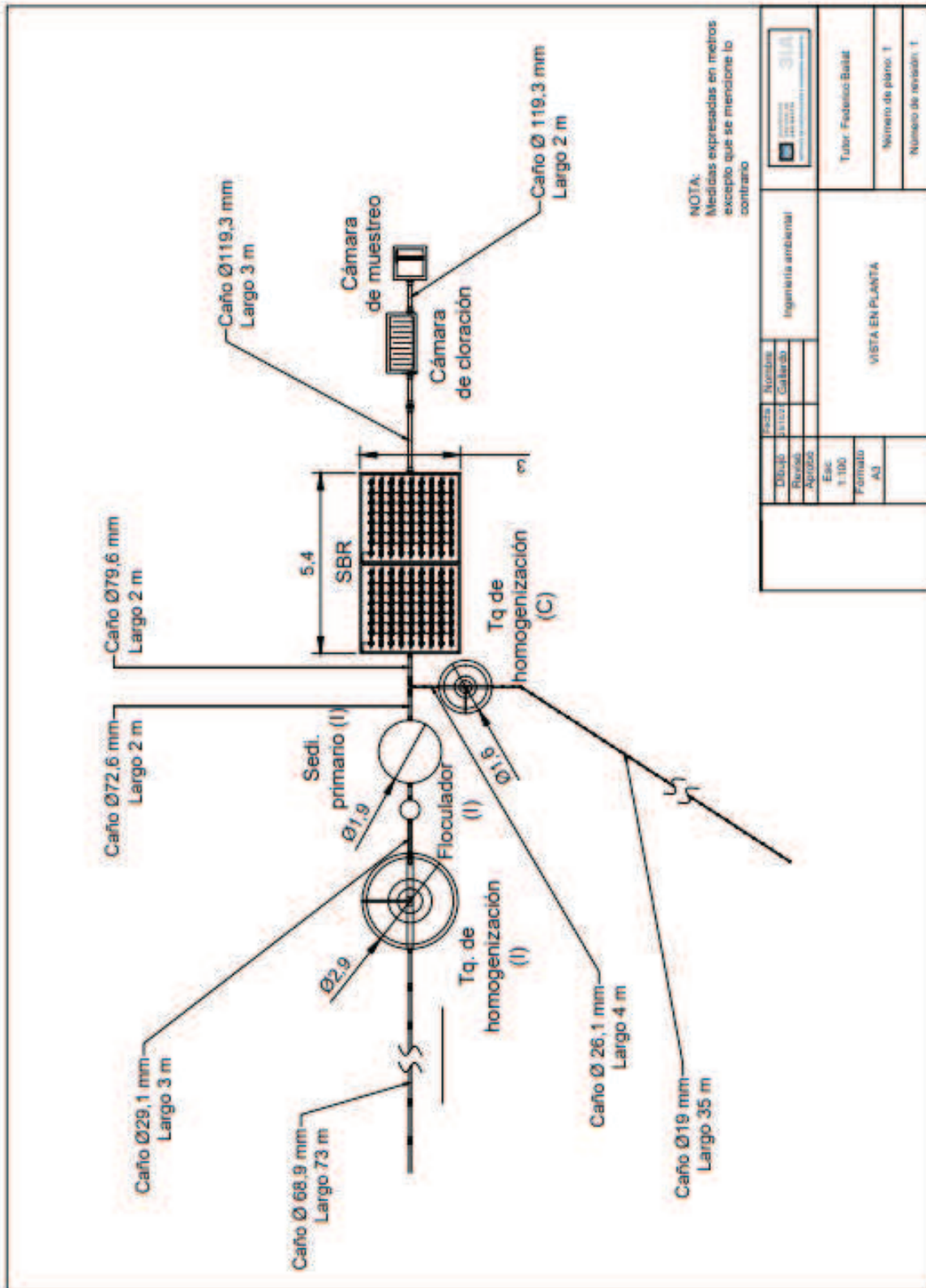


Figura 61: Vista superior de la implantación general de la planta.

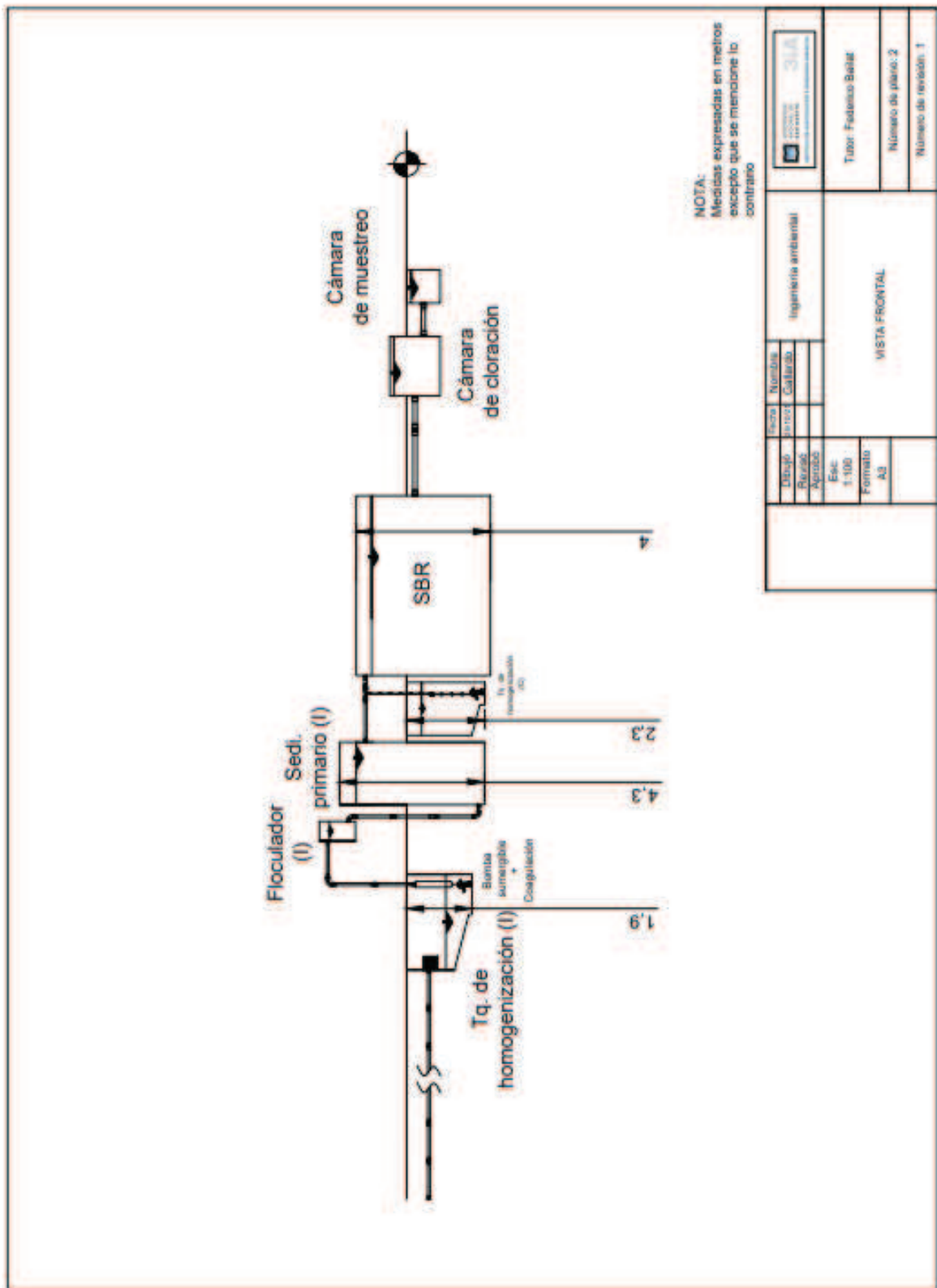


Figura 62: Vista frontal de la implantación general de la planta.

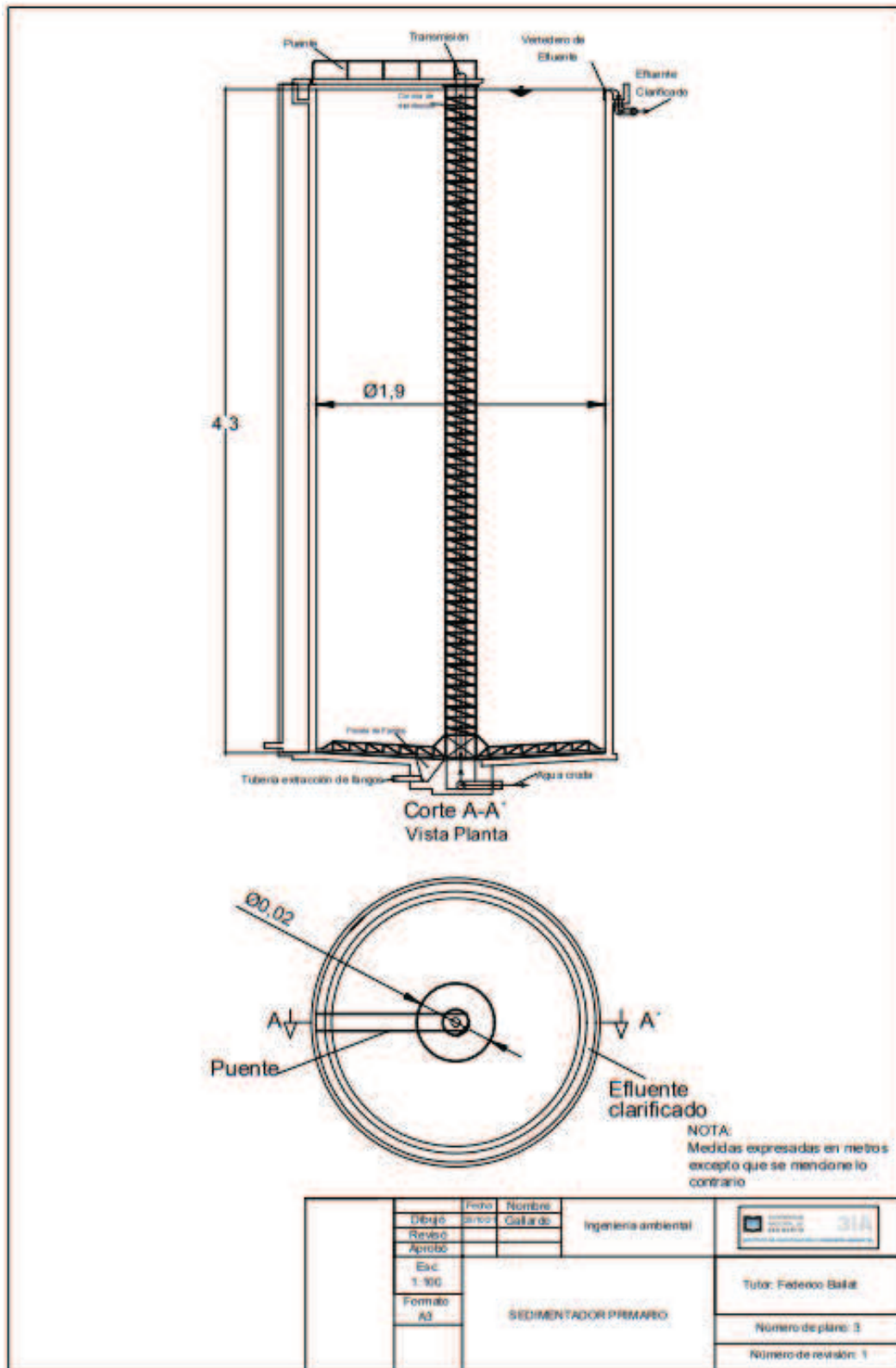


Figura 63: Vista del sedimentador primario.

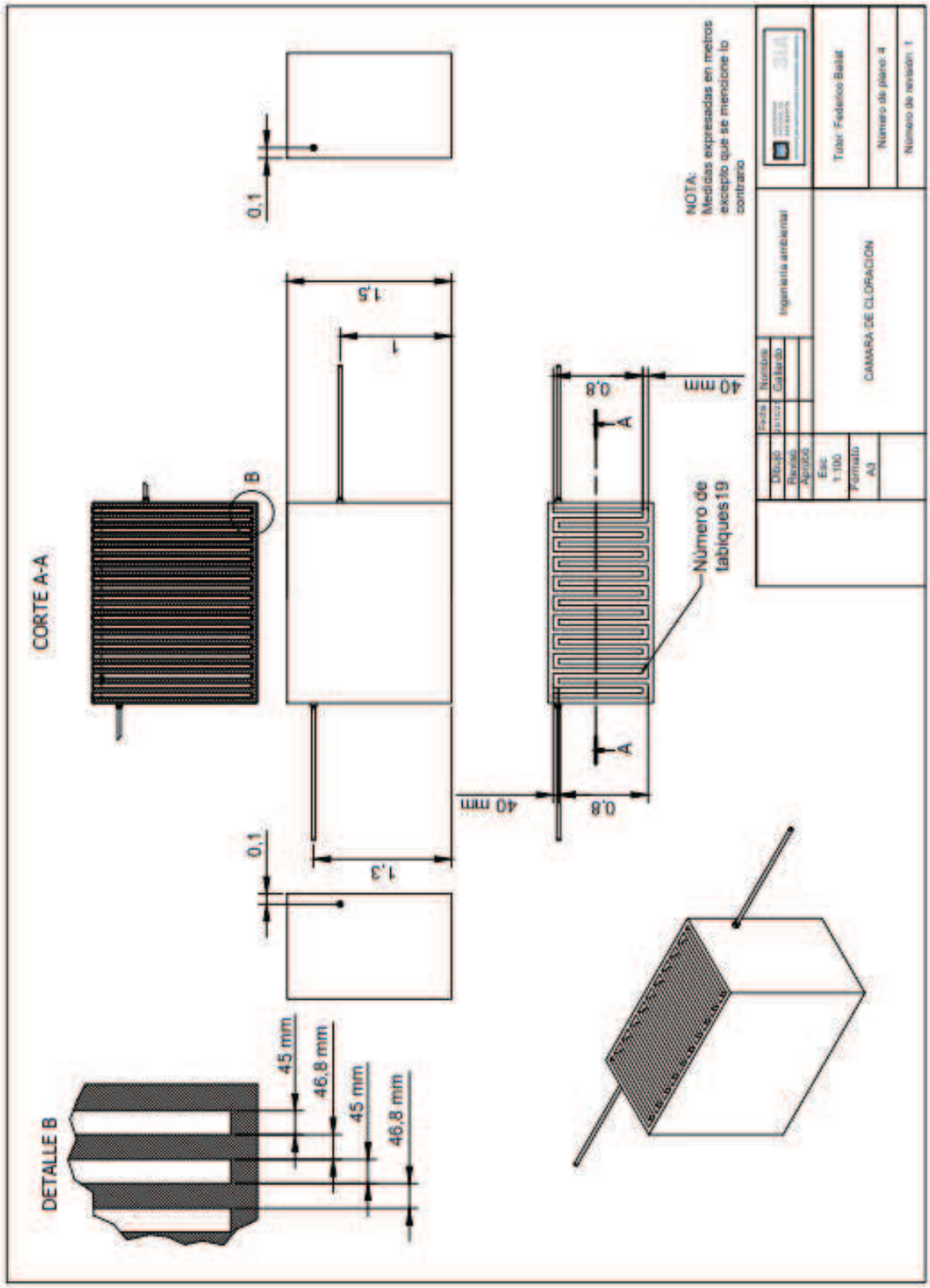


Figura 64: Vista de la cámara de cloración.

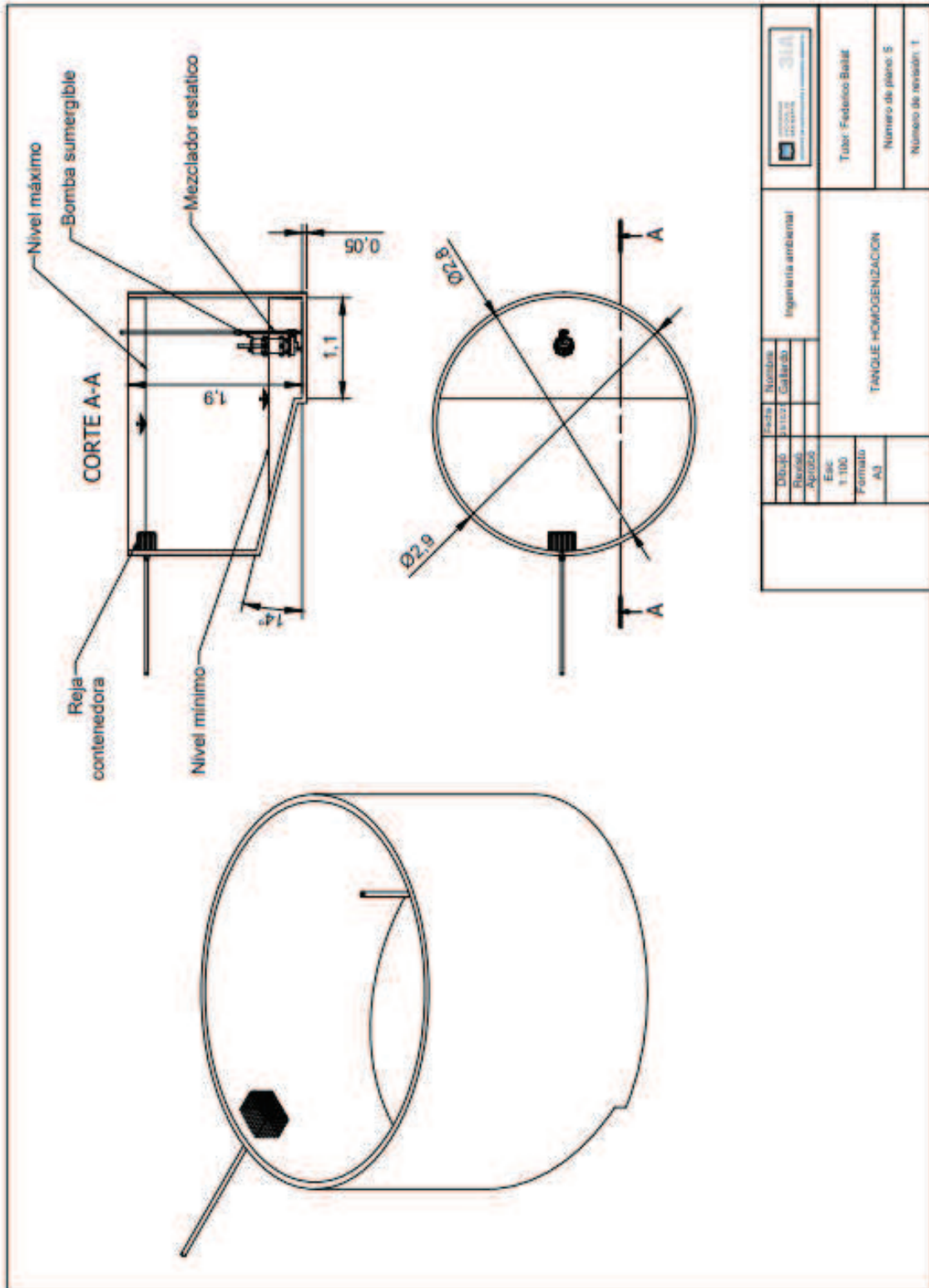
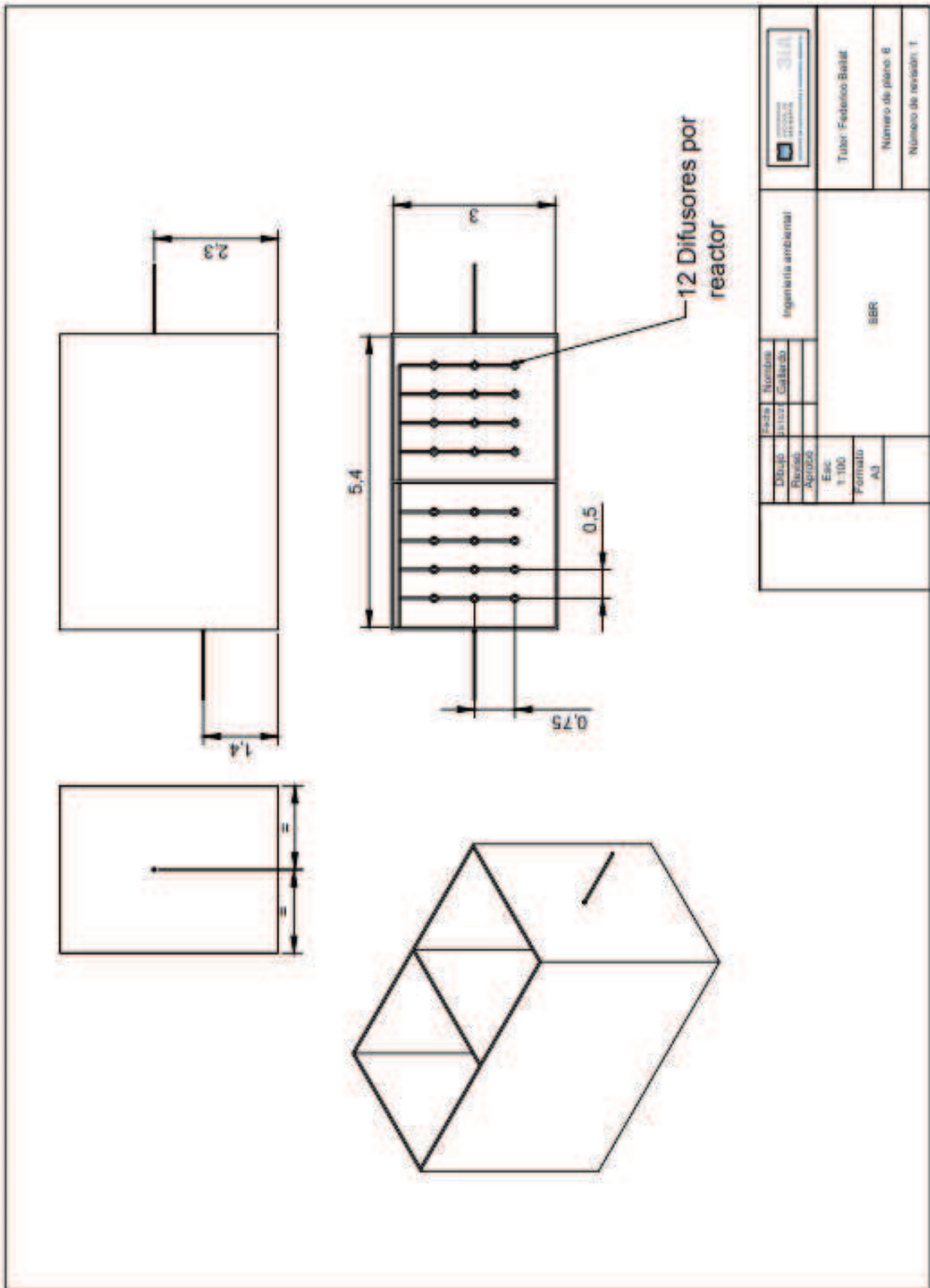


Figura 65: Vista del tanque de homogeneización.



		Ingeniería ambiental	
Fecha	Nombre	SBR	
Diseño	Calificado		
Revisión	Aprobado		
Escala 1:100		Tutor: Federico Baillat	
Formato A3		Número de plano: 6	
		Número de revisión: 1	

Figura 66: Vista del tanque SBR.

# 10. Evaluación de Impacto Ambiental

## 10.1 Introducción

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un proceso técnico administrativo, a través del cual se evalúan las implicancias ambientales de un proyecto y se decide, a través de la Autoridad de Aplicación Ambiental, la factibilidad o no de la implementación de un proyecto (Cipporeni, 2019).

Dentro de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), la sección más importante del documento es el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA). Se trata de un estudio técnico interdisciplinario, realizado de manera previa a la construcción de un proyecto, destinado a mejorar la compatibilidad ambiental del mismo con su área de influencia, identificando, caracterizando y valorando los impactos ambientales que produce, en sus distintas etapas de construcción, operación y mantenimiento, proponiendo medidas para minimizar los impactos negativos y para potenciar los positivos. Asimismo, el EsIA propone un Plan de Gestión Ambiental para organizar las medidas tendientes a corregir, minimizar o compensar los impactos identificados, que son implementadas con el objeto de lograr buenas prácticas ambientales (Cipporeni, 2019).

El análisis de la normativa ambiental deberá permitir, entre otras cuestiones, definir el alcance mínimo o umbral que deberá tener el EsIA (Cipporeni, 2019).

Por último, y como paso no menos importante que los anteriores, se debe elaborar el Plan de Gestión Ambiental (PGA), el cual está compuesto por Programas de Gestión Ambiental (PrGA). Estos PrGA están destinados a organizar las medidas propuestas, a



monitorear algunos de los impactos ambientales previstos y a implementar buenas prácticas ambientales en las distintas etapas incluidas en el Estudio de Impacto Ambiental (Cipporeni, 2019).

## **10.2 Metodología**

Para la ejecución del EsIA se recopiló información a través de distintas fuentes, además de información específica del sitio provista por la empresa. Esto permitió identificar y predecir las posibles alteraciones del medio que pudieran producirse en las distintas etapas de la obra en proyecto: construcción y funcionamiento.

A continuación, se llevó a cabo el análisis del marco legal aplicable a la actividad a desarrollar. Seguidamente se procedió a realizar una descripción de las características del medio físico, biológico y socioeconómico e infraestructura en base a información recopilada de casos anteriores similares a este en cuestión.

Luego, se realizó la descripción de la Memoria Técnica Descriptiva de las obras y actividades que se llevarán a cabo en el Predio (Girsu Zárate).

En lo que refiere a la Evaluación de los Impactos Ambientales, se procedió a identificar las acciones del Proyecto potencialmente generadoras de impactos y los factores ambientales susceptibles de ser impactados, tanto para las Etapas de Construcción, Operación y Mantenimiento, como así también para el Abandono o Cierre del mismo (Girsu Zárate).

Una vez realizada la Evaluación de los Impactos Ambientales, se analizó la necesidad de incorporar Medidas Mitigatorias tendientes a minimizar o bien eliminar los impactos negativos que como producto del Proyecto podrían llegar a generarse de manera que el mismo resulte ambientalmente sustentable (Girsu Zárate).

Se desarrolló un Plan de Monitoreo Ambiental específico para el Proyecto, que permita realizar el seguimiento de la eficiencia de las Medidas de Mitigación aplicadas y el Plan de Contingencias Ambientales que será aplicable ante cualquier eventualidad que pudiera sucederse durante las actividades de la Planta de Tratamiento de Efluentes (Girsu Zárate).

Por último, y como cierre del presente Informe Ambiental, se presentaron las principales Conclusiones y Recomendaciones (Girsu Zárate).

### **10.3 Marco Legal**

Con el objetivo de analizar el marco regulatorio en materia ambiental aplicable al Proyecto en evaluación, se consideraron tanto la legislación vigente a nivel supranacional, nacional y provincial.

### 10.3.1 Supranacional

Tabla 81: Marco legal supranacional aplicable a una Planta de Tratamientos de Efluentes Líquidos.

Norma	Tema	Descripción
Ley N° 25.438/01	Convenio Marco de las NU sobre Cambio Climático y Protocolo de Kyoto	Su objetivo es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global.
Ley N° 25.841/03	Acuerdo Marco sobre Medio Ambiente del Mercosur	Su objetivo es el desarrollo sustentable y la protección del medio ambiente, mediante la aplicación de las dimensiones económicas, sociales y ambientales, contribuyendo a una mejor calidad del ambiente y de la vida de la población.

## 10.3.2 Nacional

Tabla 82: Marco legal nacional aplicable a una Planta de Tratamientos de Efluentes Líquidos.

Norma	Tema	Descripción
Art.41 de la Constitución Nacional	Constitución Nacional	Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano
Art.43 de la Constitución Nacional	Constitución Nacional	Señala que toda persona puede "interponer acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente".
Art.124 de la Constitución Nacional	Constitución Nacional	Establece que el dominio originario de los recursos naturales pertenece a las provincias
Ley N° 25.675	Ley General del Ambiente	Política Ambiental Nacional - Principios. Competencia Judicial. Evaluación Impacto Ambiental. Seguro Ambiental. Daño Ambiental. Art.11: Se estipula la realización de un EIA a toda obra o actividad que sea susceptible de degradar el medio ambiente o alguno de sus componentes, o afectar la calidad de vida de la población, en forma significativa.
Ley N° 25.916	Residuos Sólidos Urbanos	Presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios.
Ley N° 25.688	Recursos Hídricos	Régimen de Gestión Ambiental de Aguas. Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
Decretos 674/89 y 776/92	Recursos Hídricos	Régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos industriales o barros originados por la depuración de aquellos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua.
Ley N°20.284/73	Calidad de aire	Plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas.
Ley N° 19.587	Seguridad e Higiene en el Trabajo	Decreto Reglamentario N° 351/79- Regula las condiciones de Higiene en los Ambientes Laborales, las cuales contemplan entre otros, la Contaminación Ambiental, Radiaciones y Ruidos y Vibraciones. La Resolución N° 523/95 modifica parcialmente el Anexo I del Decreto N°351/79 y establece estándares de calidad del agua potable.
Ley N° 24.577	Riesgos del Trabajo	Impone la contratación de una Aseguradora de Riesgos del Trabajo autorizada por la Superintendencia de Riesgos del Trabajo.
Decreto 911/96	Higiene y Seguridad en el Trabajo	Apruébase el Reglamento de Higiene y Seguridad para la Industria de la Construcción.

### 10.3.3 Provincia de Buenos Aires

Tabla 83: Marco legal provincial aplicable a una Planta de Tratamientos de Efluentes Líquidos.

Norma	Tema	Descripción
Constitución de la Prov. de Bs. As.	Legislación de referencia	En su Artículo N° 28 establece que, en materia ecológica, deberá preservarse, recuperarse y conservarse los recursos naturales, renovables y no renovables del territorio de la Provincia, asegurándose asimismo políticas de conservación y recuperación de la calidad del agua, aire y suelo compatible con la exigencia de mantener su integridad física y su capacidad productiva, y el resguardo de áreas de importancia ecológica, de la flora y la fauna.
Ley N° 11.459	Certificado de Aptitud Ambiental	Se establece la obtención del Certificado de Aptitud Ambiental (CAA) como requisito obligatorio para que las autoridades municipales puedan conceder la habilitación industrial. Para obtener el CAA se deberá presentar previamente un EIA.
Ley N° 11.723	Evaluación de Impacto Ambiental	Se establece la presentación de una EIA para todo proyecto cuya obra o actividades sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente y/o los recursos naturales en la provincia de Buenos Aires. Se debe obtener una Declaración de Impacto Ambiental por la Autoridad de Aplicación.
Leyes N° 12.257 / 14.520 / 14.703 / 14.873	Código de Aguas	Establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires.
Ley N° 5.965/58	Calidad de Agua y Aire	Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreto Reglamentario 2009/60</li> <li>• Decreto Reglamentario 3.395/96</li> <li>• Resolución 242/97</li> </ul>
Resolución 336/03 (ADA)	Efluentes líquidos	Establece normas de calidad de los vertidos de los efluentes líquidos residuales y/o industriales a los distintos cuerpos receptores de la provincia de Buenos Aires. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Res. 336/03</li> <li>• Res. 660/11</li> <li>• Res. 465/13</li> <li>• Res. 734/14</li> <li>• Res. 135/16</li> </ul>

## **10.4 Descripción general del proyecto**

El proyecto sujeto a la presente Evaluación de Impacto Ambiental corresponde a la construcción y operación de la planta de tratamiento de efluentes de una fábrica industrial en la ciudad de Manuel Gonnet, Buenos Aires.

Actualmente, el efluente es tratado de una manera muy antigua y es difícil que sea capaz soportar algún tipo de sobresalto en la generación del efluente.

Para conocer la calidad del efluente a tratar, se analizaron diversas fuentes bibliográficas, como también algunos análisis fisicoquímicos realizados en efluentes de otras industrias de galvanoplastia. Consecuentemente, los valores de diseño empleados no representan necesariamente la caracterización del efluente real.

El marco normativo de aplicación para evaluar la calidad de esta descarga es la Resolución 336/2003 de la Provincia de Buenos Aires. El efluente crudo no es apto para su vuelco sin el tratamiento exhaustivo propuesto en el proyecto, ya que presenta elevadas cargas de contaminantes de metales pesados.

El trabajo consiste de dos etapas principales a las cuales se les evaluarán sus efectos ambientales, luego de la construcción de la línea de base ambiental. Estas etapas son la construcción y la operación de la planta, que serán descritas más adelante para identificar las actividades propias de ambas etapas y poder luego identificar cómo cada una repercute en los distintos compartimentos del ambiente (Klug, 2018)

### **10.4.1 Perfil de la empresa**

- Ubicación: Manuel B. Gonnet, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

- Zona: Urbana.
- Clasificación: Residencial.
- Horario de trabajo: lunes a viernes de 6 a 24 horas.
- Superficie: 31.000 m<sup>2</sup>.
- Servicios existentes: Desagüe cloacal y pluvial entubado, agua corriente, electricidad, gas natural, líneas telefónicas, recolección municipal de residuos, seguridad policial, bomberos.

#### **10.4.2 Perfil de la Planta de tratamiento**

- Generación del efluente: Cloacales en la parte de baños y comedor, e industriales en el área de Galvanoplastia.
- Unidades:
  - Desbaste de los efluentes cloacales
  - Tanque de homogeneización cloacal.
  - Tanque de homogeneización industrial.
  - Tratamiento primario fisicoquímico de coagulación, floculación y sedimentación primaria.
  - Tanque de SBR.
  - Cámara de cloración.
  - Cámara de muestreo.
- Cuerpo receptor: Arroyo Don Carlos.
- Operación: Semicontinua
- Ubicación: PB y subsuelo de la empresa.

## 10.5 Línea de Base Socio Ambiental

### 10.5.1 Medio físico biológico

#### 10.5.1.1 Clima

El clima general de la zona, según la clasificación de Thornthwaite, es subhúmedo húmedo, con pequeña deficiencia de agua, mesotermal B'2 y una concentración térmica baja. La temperatura media anual es de 16.2 °C, con enero como el mes más cálido (22,8 °C) y julio como el más frío con 9,9 °C (El Cauce, 2018).

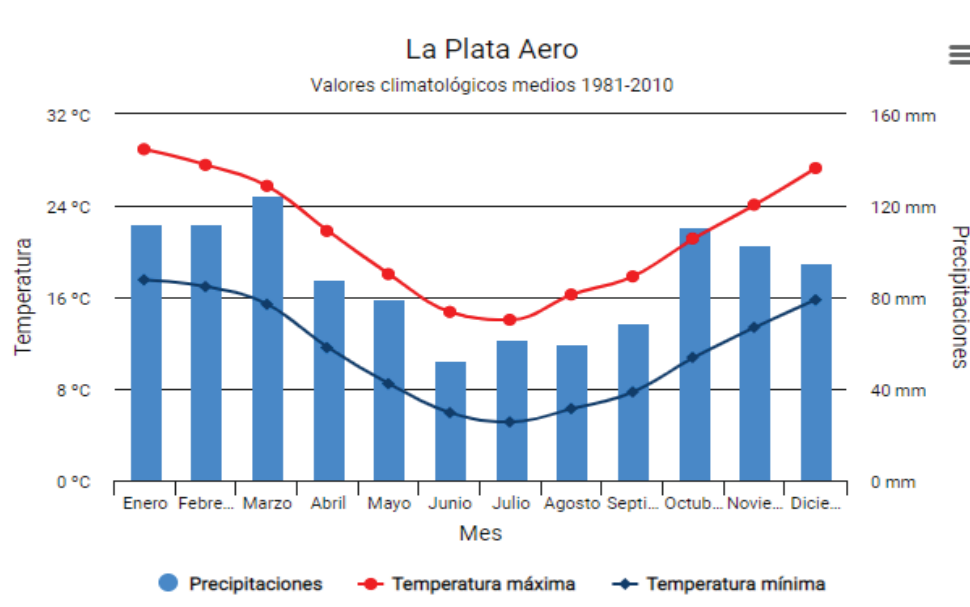


Figura 67: Valores medios de temperatura y precipitaciones de la Ciudad de La Plata entre 1981 – 2010. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.



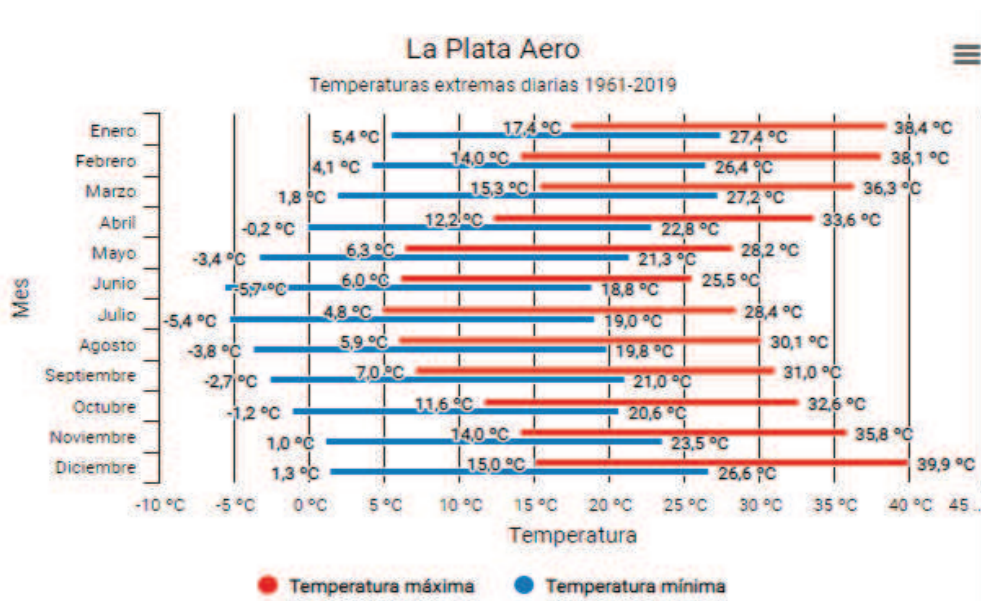


Figura 68: Temperaturas extremas diarias de la Ciudad de La Plata entre 1961 – 2019. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

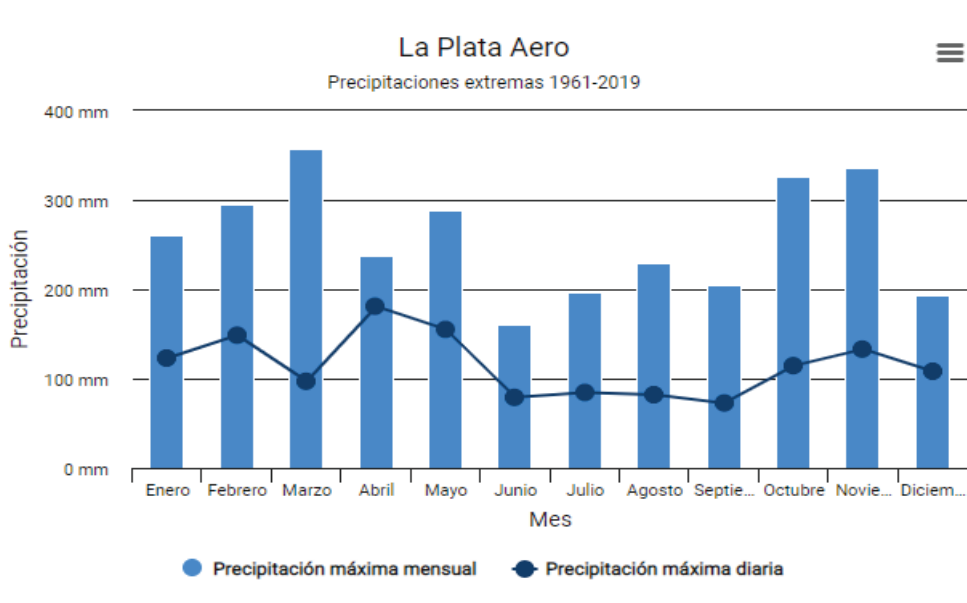


Figura 69: Precipitaciones extremas de la Ciudad de La Plata entre 1981 – 2010. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Tomando los valores medios, la precipitación anual para el periodo previamente mencionado fue de 1040 mm, siendo el mes más lluvioso marzo (111 mm) y el menos

lluvioso junio (63 mm). La distribución estacional de lluvias es bastante regular, aunque se produce una disminución apreciable en invierno (El Cauce, 2018).

Las lluvias intensas de corta duración tienen una fuerte incidencia en los ambientes urbanos, produciendo inconvenientes en los sistemas de desagües limitados en su capacidad de conducción (El Cauce, 2018).

La zona registra una evapotranspiración real (ETR) de 799 mm y un exceso anual de agua de 241 mm (El Cauce, 2018).

Los vientos preponderantes son: los correspondientes al cuadrante Este, siendo octubre el mes más ventoso (El Cauce, 2018).

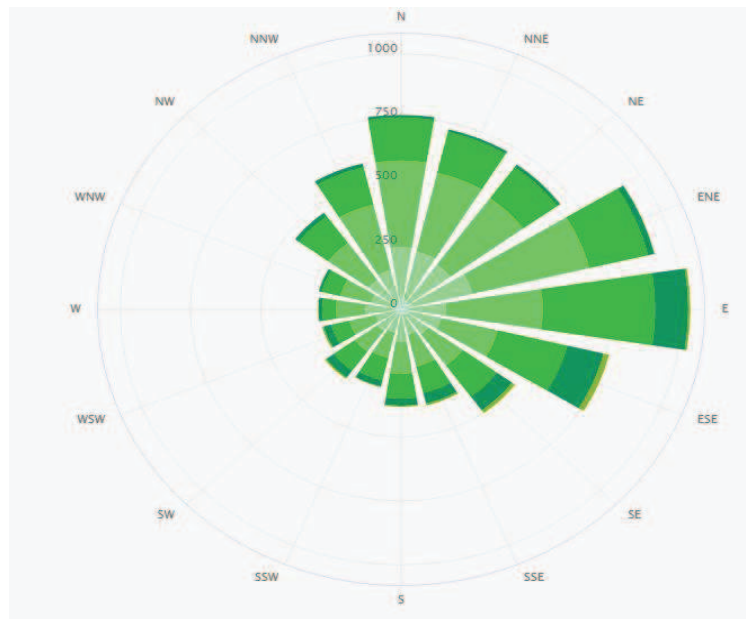


Figura 70. Rosa de los vientos para la ciudad de La Plata. Fuente: [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com). La misma utiliza datos históricos a partir de 1985 (El Cauce, 2018).

En su condición de planicie abierta, la zona está sujeta a los vientos húmedos del Anticiclón del Atlántico Sur y a los vientos secos y refrigerantes del sudoeste, causante de cambios bruscos en el estado del tiempo. En ocasiones, el Pampero provoca lluvias y

descensos de la temperatura en su frente de avance, principalmente después de un período prolongado de vientos cálidos predominantes del norte. Por el contrario, la Sudestada, viento frío saturado (El Cauce, 2018).

### **10.5.1.2 Geología y geomorfología**

La zona en la que se ubica el predio corresponde a la región Pampeana, en el límite de la denominada subregión Pampa Ondulada, con escasa pendiente longitudinal hacia el Río de La Plata y otros pequeños cursos de carácter semipermanente y permanente que circundan la región (El Cauce, 2018).

Los escurrimientos superficiales se desarrollan de manera mantiforme, con escaso encauzamiento, característicos de las zonas de baja pendiente. Pueden verse zonas deprimidas donde el suelo se encuentra parcial o totalmente erosionado, alternando con sectores más elevados. Estas áreas deprimidas adquieren formas de tipo circular, las cuales pueden convertirse en pequeños cuerpos lénticos de carácter transitorio en función de las precipitaciones recibidas (El Cauce, 2018).

Desde el punto de vista geológico, los suelos de la región son fundamentalmente limo arcillosos y areno limosos, siendo común la existencia de depósitos tipo loess y niveles de materiales calcáreos. Caracterizados por su fertilidad, desde el punto de vista taxonómico se clasifican como Molisoles. En lo que respecta al uso ingenieril, dado que se indica la característica expansiva de los suelos entre los 20 y 100 cm de profundidad, se deberá prestar atención a la ejecución de las fundaciones de las viviendas (El Cauce, 2018).

El suelo desarrolla un horizonte de variados materiales desde el basamento rocoso hacia la superficie, en una secuencia estratigráfica correctamente definida (El Cauce, 2018).

- Basamento Cristalino: es la roca base por sobre la que se encuentra depositado la secuencia sedimentaria de la zona a describir. Se localiza entre 200 y 500 de profundidad según distintas perforaciones llevadas a cabo en el conurbano bonaerense. Está constituido fundamentalmente por rocas de composición granítica a rocas de alto grado de metamorfismo, de composición gneissica a migmática. Las dataciones radiométricas han arrojado edades que la sitúan entre el Precámbrico y el Paleozoico inferior. Por sobre este se encuentra depositada la secuencia sedimentaria Cenozoica (El Cauce, 2018).
- Formación Olivos: se encuentra formada por bancos de areniscas, limos y arcillas de color típicamente rojizo, con intercalaciones de yeso y material carbonático. Se apoya discordantemente sobre el basamento cristalino. Su origen es continental. Su datación radiométrica lo ubica en el Terciario inferior, Mioceno (El Cauce, 2018).
- Formación Paraná: de yacencia discordante respecto a la Formación Olivos se ubica una formación compuesta por arcillas y arenas arcillosas verde y verde azuladas, de origen marino, con importante contenido fosilífero que han permitido asignarle una edad Miocena media a superior. Su techo se ubica a aproximadamente -70 m y sirve de límite inferior a la Formación Puelche (El Cauce, 2018).
- Pampeano y Postpampeano: su base se apoya sobre el techo de las arenas de la Formación Puelche y se encuentra entre los 30 y 50 metros de profundidad. En este sector está representado por arcillas gris-blanquesinas, plásticas a muy plásticas, con tintes ocráceos, buenos indicadores de la proximidad de las arenas Puelche en la ejecución de las perforaciones. A estas arcillas se superpone una secuencia constituida por loess pardo-oscuros a pardo-rojizo, con intercalaciones calcáreas y lentes arcillosas. La granulometría predominante está constituida por limos, limos

arcillosos con algunas intercalaciones de lentes arenosas y arcillosas (El Cauce, 2018).

El Pampeano se divide en dos Formaciones, una inferior “Fm Ensenada” y una superior “Fm Buenos Aires”, menos compacta, generalmente más oscura sin estratificación marcada de un espesor variable que oscila en los 10 metros. Estos sedimentos pampeanos son los portadores del acuífero freático (“Acuífero Pampeano”) de calidad inferior al Puelche dado que el mismo es receptor directo de vertidos cloacales, industriales y de lixiviados de basurales y/o productos químico-agropecuarios (El Cauce, 2018)

Coronando el perfil se observan los sedimentos “postpampeanos” formado por limos arcillosos gris parduzco presentes generalmente en las zonas próximas a los ríos de La Plata, Matanza, Reconquista y algunos bajos interiores (El Cauce, 2018).

- Formación Puelche: formada por una secuencia de arenas silíceas blanquecinas a amarillentas de granulometría variada, presentando generalmente intercalaciones de grava fina silícea en su base y techo. Su edad se considera Pliocena aunque algunos autores la ubican en la base del Pleistoceno. Es la formación portadora del acuífero que abastece de agua potable a gran parte del conurbano bonaerense y el que servirá para abastecer a las dos perforaciones motivo del presente proyecto. Se extiende desde el sur de las provincias de Entre Ríos y Santa Fe hasta aproximadamente el curso del Río Salado el cual sirve de límite austral (El Cauce, 2018).

Según información antecedente, el nivel freático en esta zona se encuentra a 14 m.b.b.p. aproximadamente (El Cauce, 2018).

### **10.5.1.3 Riesgos geológicos**

La zonificación de la República Argentina indica que la Patagonia oriental es un área de gran estabilidad, aunque de algún modo se puede sentir la repercusión de algún sismo que ocurra en la zona cordillerana de mayor riesgo.

El país se zonifica según un Coeficiente Sísmico Zonal, cuya escala es 0,013 Muy bajo, 0,025 Bajo, 0,050 Mediano, 0,10 Alto y 0,12 Muy alto. De acuerdo a esta escala a la región de la Patagonia oriental le corresponde el valor 0,013 Muy bajo.

Para la evaluación del riesgo sísmico del área, se utiliza el estudio de zonificación sísmica de la República Argentina del INPRES. En la Figura se puede observar el Mapa de Zonificación Sísmica, según la peligrosidad sísmica.

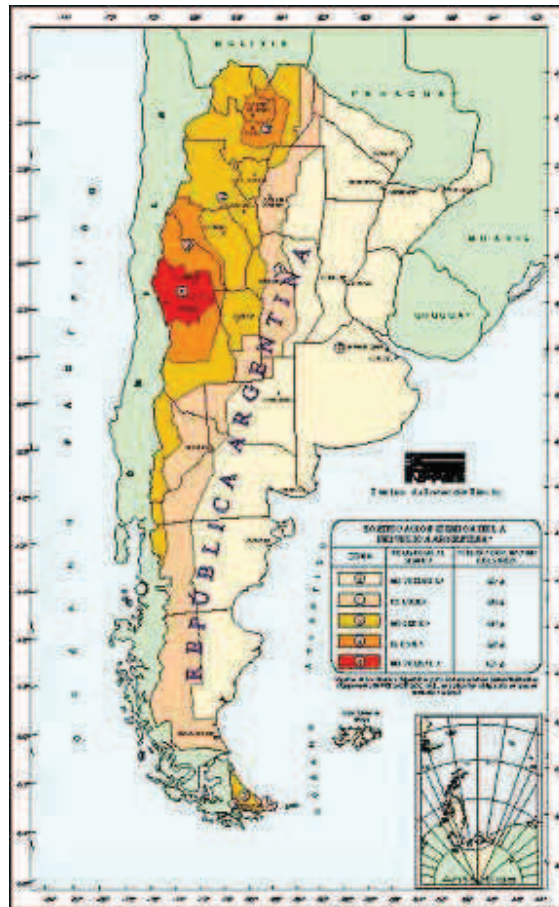


Figura 71: Mapa de Zonificación Sísmica de Argentina.

#### 10.5.1.4 Aguas Superficiales

El Partido de La Plata se extiende sobre una llanura de transición. Ubicado sobre una divisoria de aguas, con cotas máximas desarrolladas de NO-SE, desde 30 msnm a 20 msnm, originando dos drenajes principales (El Cauce, 2018).

Uno con vertiente hacia el Samborombón, formando la cuenca alta de éste, con orientación principal de las cuencas N-S, y declinación no mayor a 10m; provocando que los arroyos formen lagunas pequeñas y cauces temporarios por el bajo escurrimiento, característica principal de las cuencas de la Pampa Deprimida (El Cauce, 2018).





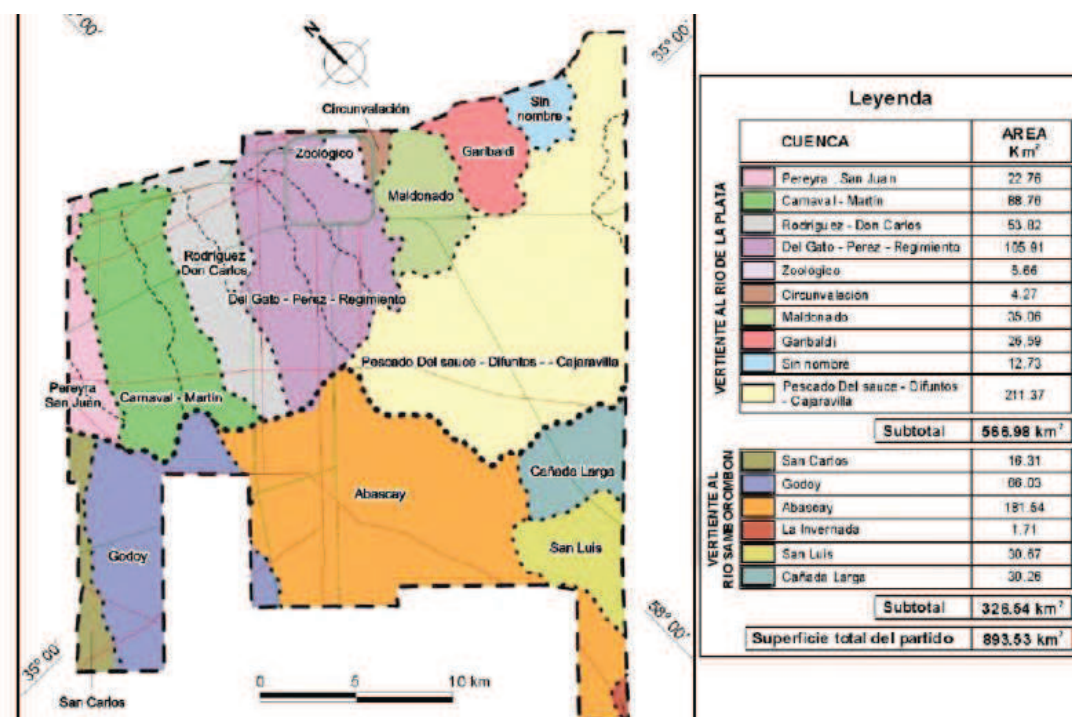


Figura 73. Cuencas de drenaje del partido de La Plata. (Fuente: Análisis ambiental del partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento Territorial, 2006)

Estudiando las precipitaciones entre 1971-1980, se pueden contar 25 inundaciones, entre 1981- 1990 se duplicaron, y durante 1991–2000 se verificaron 78 eventos. Las causas entonces, se corresponden con la región geográfica, por razones climáticas y edáficas, pero siempre se encuentran asociadas a la acción antrópica, incluido el cambio climático. De imposible gestión desde un enfoque local o regional (El Cauce, 2018).

Desde lo conceptual, si bien se reconoce la necesidad de aplicar la teoría social del riesgo para sostener cualquier plan (tanto de ordenamiento como de contingencia) por la escasez de información y como primera aproximación, se ha utilizado para la modelización de la situación de riesgos la metodología propuesta por Ribera Masgrau (2004) donde se reemplaza conceptualmente dentro del componente humano la vulnerabilidad por la

exposición más susceptibilidad, a partir de la aplicación de la siguiente fórmula (El Cauce, 2018):

- Riesgo hídrico = amenaza o peligro x vulnerabilidad / Resiliencia
- El riesgo hace referencia a la probabilidad de que una población o segmento de la misma, le ocurra algo a partir de una amenaza o peligro, nocivo o dañino, en este caso sufra inundación (El Cauce, 2018).
- La amenaza o peligro se entiende como la posibilidad de ocurrencia de un evento físico proveniente - en este caso - de la naturaleza que puede causar algún tipo de daño a la sociedad teniendo en cuenta el deslizamiento y la retención de agua que puede causar la geomorfología (El Cauce, 2018).
- La vulnerabilidad es una manifestación del nivel expresado en grados de desequilibrio o desajuste entre la estructura social y el medio natural y construido. No puede tener valor absoluto, sino que su expresión es relativa. (Hilda Herzer – Raquel Gurevich, 1996) (El Cauce, 2018)
- Por último, la resiliencia se refiere a la capacidad de recuperación/respuesta para afrontar el impacto de un evento, como también estar prevenido ante un fenómeno adverso (El Cauce, 2018).

## **10.5.2 Medio biológico**

### **10.5.2.1 Biota**

De acuerdo con la posición geográfica, el área de estudio se localiza en la zona biogeográfica denominada Provincia Pampeana. El sitio donde se desarrollará el emprendimiento se ubica en el límite inferior de la subregión Pampa Ondulada, en la zona de planicie al norte de la subregión Pampa Deprimida (El Cauce, 2018).

La vegetación clímax es la estepa o pseudoestepa de gramíneas, conocida frecuentemente como pastizal, con dominio de especies herbáceas y arbustos (El Cauce, 2018).

En algunos sectores de la zona se ha eliminado la cobertura vegetal para la puesta en funcionamiento de nuevas urbanizaciones en la zona (construcción de viviendas, instalación de infraestructura de servicios, etc.). Del relevamiento de la vía pública y espacios públicos en el entorno directo, se destacan las siguientes especies arbóreas, teniendo en cuenta la abundancia de sus ejemplares: Acacia de Constantinopla (*Albizia julibrissin*), Acacia negra (*Gleditsia triacanthos*), Álamo Carolina (*Populus deltoides*), Arce negundo (*Acer negundo*), Casuarina (*Casuarina cunninghamiana*), Ceibo (*Erythrina crista-galli*), Crespón (*Lagerstroemia indica*), Eucalipto globulus (*Eucalyptus globulus*), Eucalipto viminalis (*Eucalyptus viminalis*) Eucalipto cinerea (*Eucalyptus cinerea*), Fresno americano (*Fraxinus pennsylvanica* / *Fraxinus americana*), Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*), Ligustro (*Ligustrum lucidum*), Liquidambar (*Liquidambar styraciflua*), Morera Blanca (*Morus alba*), Paraíso (*Melia azedarach*), Pino (*Pinus sp*), Roble de Eslavonia (*Quercus robur*), Sauce llorón (*Salix babylonica*). En el predio se observan algunas de las especies previamente mencionadas (Acacias, Robles, Alamos, Eucaliptus, Sauces) que se conservarán como parte de las propiedades (El Cauce, 2018).

Acompañan a esta vegetación, ejemplares de la fauna en franco retroceso numérico, tanto en relación con el número de especies como de abundancia poblacional, debido a la alteración de los ecosistemas naturales vinculada con la expansión de la actividad agropecuaria y urbanística de la región (El Cauce, 2018).

Respecto a la fauna nativa, existen muy pocos ejemplares entre los que se destacan principalmente algunas especies de aves, las cuales se han vuelto tolerantes a las perturbaciones humanas de baja magnitud que se observan en la zona (tránsito automotor,

urbanizaciones), como sucede en la mayoría de las áreas urbanizadas de esta región (El Cauce, 2018)

Con respecto a la ictiofauna, las especies halladas en el arroyo Rodríguez son representantes de la Provincia Parano Platense. El grupo de peces dominante en el área de estudio abarca especies con hábitos migratorios marcados (*Prochilodus lineatus*, *Mugil sp.*, *Pimelodus albicans*, *P. maculatus*, *Parapimelodus valenciennis*, *Cyphocharax voga*, *Hypostomus commersoni*, *Astyanax bimaculatus*), las cuales realizarían incursiones desde el Río de la Plata hacia el arroyo y viceversa. El alcance de estos desplazamientos estaría condicionado por el caudal del curso de agua y la temperatura, de manera que la presencia, así como la abundancia de cada una de estas especies estaría determinada por el nivel hidrométrico del arroyo y la época del año (Ictiofauna de un ambiente lótico suburbano: el Arroyo Rodríguez (Buenos Aires, Argentina), Colautti, D. 2005) (El Cauce, 2018).

Algunos anfibios que pueden encontrarse en esta zona son la rana común o criolla (*Leptodactylus ocellatus*), rana del zarzal (*Hyla pulchella*) y el sapo común (*Bufo arenarum*). También es común hallar pequeños mamíferos tales como la comadreja overa (*Didelphis albiventris*), la mulita (*Dasypus hybridus*), el peludo (*Chaetophractus villosus*), la liebre (*Lepus capensis*), el cuis (*Cavia pamparum*), la vizcacha (*Lagostomus maximus maximus*), la rata negra (*Ratus ratus*) y el zorrino (*Conepatus chinga*) (El Cauce, 2018).

## **10.5.3 Medio socioeconómico**

### **10.5.3.1 Población**

El Dr. Dardo Rocha fue investido como Gobernador de la Provincia, el 1 de Mayo de 1881, y mencionó en su discurso: "Debemos esperar que en un breve tiempo levantemos una

ciudad populosa y floreciente que, para las necesidades administrativas y políticas, reemplace en cuanto sea posible, a la antigua capital". Y se promulga la Ley de creación de la ciudad de LA PLATA en los "Altos de la Ensenada". Era preciso fundar una ciudad desde sus cimientos, porque el sitio no era otra cosa que montes, lomas y bañados, recorridos por liebres, perdices y vizcachas, que servían de pastoreo a las haciendas de las estancias cercanas (Lódola & Brigo, 2011)

El partido de La Plata, además del Casco Fundacional, se divide en los siguientes centros comunales: Abasto, Arturo Seguí, City Bell, Etcheverry, El Peligro, Gonnet, Gorina, Hernández, Lisandro Olmos, Los Hornos, Melchor Romero, Ringuélet, San Carlos, San Lorenzo, Tolosa, Villa Elisa y Villa Elvira (Lódola & Brigo, 2011).



Figura 74: Mapa del Partido de La Plata y sus alrededores.

La ciudad de la Plata es la capital de la Provincia de Buenos Aires y se encuentra a 60 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

La Ciudad de La Plata posee 713.947 habitantes según lo estimado en el Censo del INDEC en 2010, y esto representa un 4% del total de la población de la Provincia de Buenos Aires.

## Crecimiento poblacional

Basándose en los datos publicados por el Departamento de Estudios Sociales y Demográficos a través de su informe “Proyecciones de población por Municipio provincia de Buenos Aires 2010 -2025, se puede realizar el siguiente cuadro para la Municipalidad de La Plata.

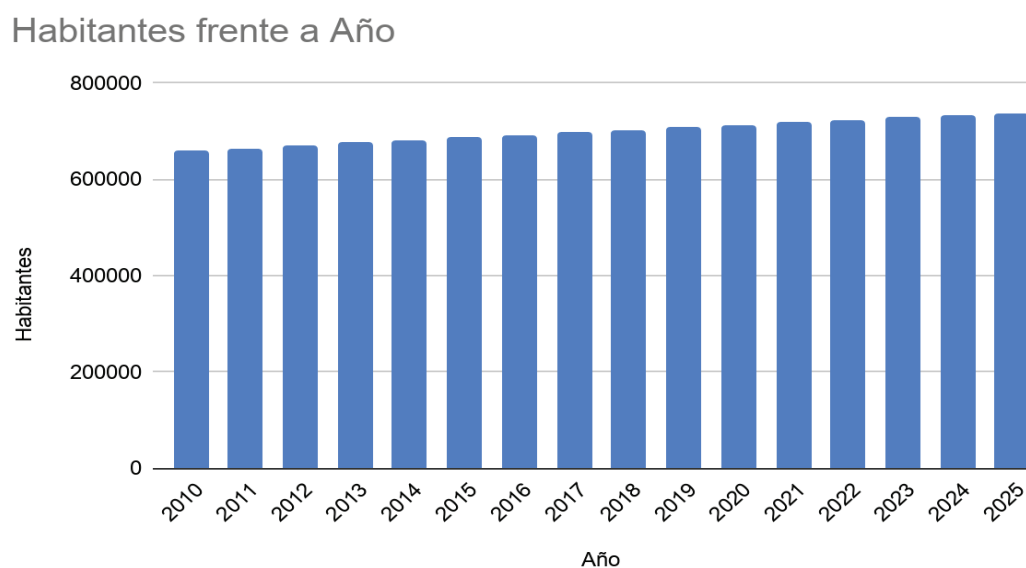


Figura 75: Crecimiento poblacional en la Municipalidad de La Plata. Fuente: INDEC.

## Composición de la población

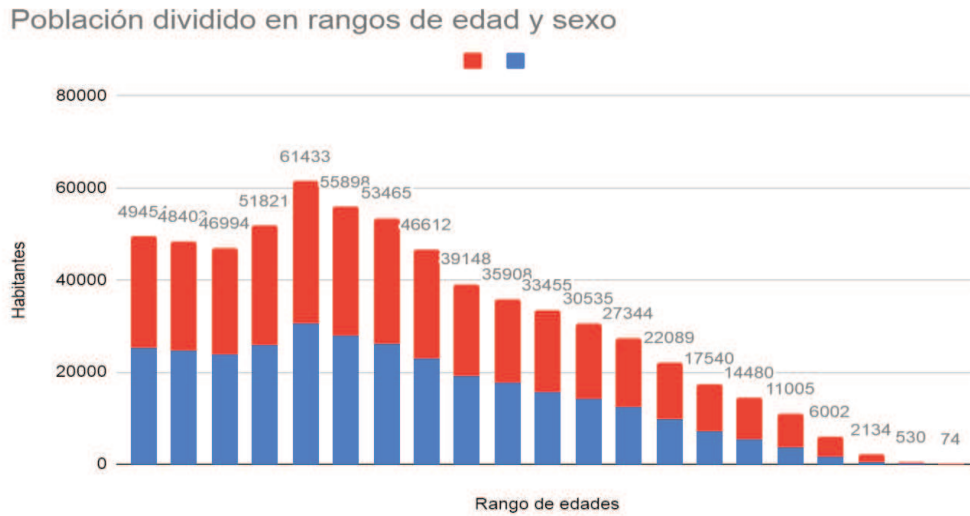


Figura 76: Composición de la población en la Municipalidad de La Plata. Fuente: INDEC.

Un aspecto relevante en cuanto a los habitantes que posee la ciudad es su procedencia de otros municipios de la Provincia o bien de otras provincias del país fundamentalmente a raíz de la oferta universitaria brindada. En la actualidad, del total de habitantes de la ciudad, el 15% nació en otra localidad de la Provincia mientras que un 9% lo hizo fuera de los límites del territorio provincial, y más del 4% es extranjero (Lódola & Brigo, 2011).

## Educación

La Universidad Nacional de La Plata, inaugurada en 1897 bajo la esfera provincial y nacionalizada en 1905, es una de las tres casas de altos estudios de mayor importancia del país, con 16 facultades en la ciudad, hecho por el cual la afluencia de estudiantes universitarios de distintas partes del país y del exterior es una de las corrientes migratorias que mayor impacto tiene sobre la región (Lódola & Brigo, 2011).

Entre los más de 11 millones de habitantes que sobrepasan los 10 años de edad en la Provincia de Buenos Aires, existe un 1,6% que manifiesta no saber leer y escribir. Por su

parte, La Plata presenta una tasa de analfabetismo menor que la provincial (1,2%), destacándose que, en seis centros comunales, dicha tasa duplica la existente a nivel municipal (Lódola & Brigo, 2011).

Entre los que asisten, los niveles iniciales (preescolar y primaria) abarcan al 47% de las personas mayores a tres años, el nivel intermedio alcanza un 24%, mientras que el superior (terciario y universitario) agrupa al 29% restante (Lódola & Brigo, 2011)

En términos de educación inicial y secundaria prácticamente todos los centros comunales superan el promedio comunal, con excepción de lo acontecido en el Casco urbano, Lisandro Olmos (en el nivel preescolar) y El Peligro (nivel secundario). La razón fundamental por la cual el Casco evidencia los menores porcentajes en estos niveles radica en la estructura etaria de su población (Lódola & Brigo, 2011).

Entre el 62% de la población mayor a tres años de La Plata que asistió a algún establecimiento educativo, la mayor parte (44%) lo hizo hasta el nivel intermedio (pudiendo o no haber completado sus estudios) mientras que un 17% lo hizo hasta el nivel superior, de los cuales el 69% completó sus estudios (Lódola & Brigo, 2011).

### **Cobertura en salud**

La existencia de una cobertura médica adecuada ante posibles contingencias que afecten la salud humana es un indicador que generalmente puede asociarse con la calidad de vida (Lódola & Brigo, 2011).

Mientras que, a nivel provincial, algo más de la mitad de la población cuenta con obra social o plan de salud privado o mutual, en el Municipio dicho indicador asciende a 63%<sup>19</sup>, superando incluso el 48% evidenciado para los partidos del GBA y el 57% para el resto de los partidos de la Provincia (Lódola & Brigo, 2011).



Los centros comunales que muestran mayores niveles de cobertura médica, en relación al promedio del partido, son aquellos que también muestran mejores niveles educativos en su población (Casco, Gonnet, City Bell y Ringuelet) junto a Tolosa. En el extremo opuesto, las zonas de la ciudad donde menor proporción de la población posee cobertura médica también siguen el ordenamiento propuesto precedentemente en términos de nivel educativo (Lódola & Brigo, 2011).

### **Actividades productivas**

La conjunción del entorno administrativo instaurado en la ciudad con la radicación de alumnos universitarios son dos factores de alto impacto sobre el desarrollo local de otras actividades como, por ejemplo, el comercio y el mercado inmobiliario. Asimismo, los citados aspectos también se vinculan con (y determinan) la localización de diversas asociaciones que nuclean a empresas, profesionales y trabajadores con sus consecuentes organismos asociados (Cámaras, Federaciones, Concejos Profesionales, Cajas Previsionales y mutuales por citar algunos ejemplos) (Metropolitana, 2000)

Además de este eje “administrativo y universitario”, la caracterización del Municipio quedaría incompleta sino se incorpora la descripción de ciertos sectores productivos, tanto de actividades primarias como secundarias, con importante peso en la economía local y provincial (Lódola & Brigo, 2011).

Con respecto a los sectores primarios, en el Partido de La Plata es donde se asienta la mayor cantidad de explotaciones hortícolas, destacándose como el principal productor de varias hortalizas a nivel provincial e incluso nacional, hecho que se sustenta en dos factores principales. Por un lado, el municipio es parte del cinturón verde del Gran Buenos Aires, uno de los polos productivos de frutas y hortalizas más importantes del país que abastece de

dichos productos a los principales centros de consumo. Por el otro, la población residente en la ciudad, a través de los comercios especializados y de los gastronómicos, mantiene un alto nivel de demanda hortícola que se satisface a través del Mercado Regional (Lódola & Brigo, 2011)

Entre las actividades secundarias, la industria manufacturera local presenta una amplia diversidad sectorial, los cuales van desde la fabricación de alimentos y bebidas hasta la de instrumentos y aparatos relacionados con las comunicaciones, atravesando la elaboración de productos químicos, las actividades de impresión y la fabricación de insumos para la construcción (Lódola & Brigo, 2011)

La población económicamente activa (PEA) del partido de La Plata superaba en el año 2001 las 263 mil personas, lo cual implica el 58% de la población mayor a 14 años del distrito. Si bien, dicho porcentaje coincide con el evidenciado a nivel provincial, la composición del mismo es diferente. Mientras en la Provincia los ocupados representan el 67% de la PEA, en el municipio ascienden al 77%.

La composición de los ocupados en función de la categoría ocupacional en la cual desempeñan sus labores, indica un gran contraste en lo acontecido con los empleados a nivel provincial y municipal. Mientras en el primer caso, la mayoría pertenece al sector privado, en La Plata los empleados del sector público representan una cuantía similar a los del privado, razón que se sustenta en la importancia de ser la sede administrativa provincial (Lódola & Brigo, 2011)

## **Socioeconómico**

Uno de las formas de evaluar el nivel socioeconómico de las personas radica en la posesión de determinados bienes. Comparado con el nivel provincial, La Plata no presenta

significativas diferencias en términos de porcentaje de hogares que poseen heladera o lavarropas. Sin embargo, sí existe mayor proporción de hogares que tienen computadora, video o microondas. El Casco junto con Gonnet y City Bell, son las zonas que explican esta característica (Lódola & Brigo, 2011).

### **Gonnet**

En Gonnet reside el 4,1% de la población y aporta el 5% del ingreso del Partido de La Plata. De acuerdo al indicador de ingreso se ubica en segundo lugar, después del Casco y es la zona de la ciudad donde la tenencia de bienes como freezer, computadora o microondas es en todos los casos mayor a la del resto de los centros comunales. Las principales fuentes de ingreso son, en cuantías similares, el comercio (18%) y la administración pública (16%). Respecto a las viviendas, tiene la mayor proporción de casas, y es donde mayor porcentaje de propietarios habitan las viviendas. Su población realizó un promedio de 9,9 años de estudios (solo superada por el Casco en el Partido). El 74% de sus habitantes cuenta con cobertura en salud (Lódola & Brigo, 2011)

## **10.6 Valoración de impactos ambientales**

Se considera impacto ambiental a cualquier alteración significativa de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del ambiente como resultados de las actividades humanas, los cuales, a su vez, pueden tener un impacto social (ENOHSa).

El proceso para evaluar los Impactos Ambientales requiere el desarrollo de una serie de etapas que permitan predecir los potenciales cambios o modificaciones que puedan manifestarse en el ambiente como resultado de la implementación del Proyecto, de manera

tal de poder aportar medidas que tiendan a la reducción o eliminación de los impactos negativos para el medio y a la potenciación de los positivos (El Cauce, 2018)

### **10.6.1 Metodología**

Los impactos o efectos ambientales se identifican y caracterizan indicando su causa, extensión temporal y espacial, y el recurso receptor de los mismos. (Confluencia A&S, 2016)

Se procede a la identificación de actividades a desarrollarse durante la fase de construcción, operación y abandono del proyecto, y que podrían causar impactos ambientales.

En función del análisis de los componentes ambientales se describe y evalúa, para cada acción del proyecto, el impacto previsto a cada factor o componente ambiental. La intensidad del impacto ambiental es función de la sensibilidad ambiental del medio receptor y de la naturaleza de las actividades del proyecto. (Confluencia A&S, 2016)

Para la evaluación de impactos ambientales que se producirán en el área de influencia, se ha desarrollado la Matriz de Leopold modificada, que permite establecer las relaciones causa efecto de acuerdo a las características del proyecto. Adicionalmente, se han priorizado los impactos de mayor magnitud y relevancia, los mismos que contarán con medidas correctivas.

En consecuencia, la calificación y valoración de impactos, tiene como propósito establecer y determinar los impactos que generan los mayores efectos negativos, de acuerdo a su orden de importancia, obtenido de la jerarquización de los mismos, a efectos de proceder a su mitigación y control, mediante la aplicación de medidas ambientales protectoras.

La valoración cualitativa de impactos se deberá realizar calificando el grado de magnitud e importancia del impacto identificado, mediante los siguientes criterios:

- Carácter
- Intensidad
- Extensión
- Duración
- Reversibilidad
- Riesgo

Tabla 84: Variables y escalas para calcular la importancia del impacto. Fuente: (Confluencia A&S, 2016)

Variable	Descripción	Clasificación	Valor	Criterio
Carácter	Mención al carácter de cada una de las acciones que actúan.	Positivo (+)	+	Acciones que actúan en forma beneficiosa sobre los diferentes factores que se han considerado.
		Negativo (-)	-	Acciones que actúan en forma perjudicial sobre los diferentes factores que se han considerado.
Intensidad	Refiere al grado de incidencia de la acción en la calidad del medio	Baja	1	Impactos que con recuperación natural o con una ligera ayuda por parte del hombre, es posible su recuperación
		Moderada	2	Alteración notoria, producida por la acción de una actividad determinada, donde el impacto es reducido y puede ser recuperado con una mitigación sencilla y poco costosa.
		Alta	3	Alteración muy notoria y extensiva, que puede recuperarse a corto o mediano plazo, siempre y cuando exista una intervención oportuna y profunda del hombre, que puede significar costos elevados
Extensión	Refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto	Regional	3	La región geográfica del proyecto
		Local	2	Aproximadamente tres kilómetros a partir de la zona donde se realizarán las actividades del proyecto.

		Puntual	1	En el sitio en el cual se realizarán las actividades y su área de influencia directa
Duración	Se refiere a la duración de la acción impactante, no de sus efectos.	Permanente	3	Cuando la permanencia del efecto continúa aun cuando se haya finalizado la actividad.
		Temporal	2	Si se presenta mientras se ejecuta la actividad y finaliza al terminarla
		Periódica	1	Si se presenta en forma intermitente mientras dure la actividad que los provoca
Reversibilidad	Implica la posibilidad, dificultad o imposibilidad de que el componente ambiental afectado retorne a su situación inicial, y la capacidad que tiene el ambiente para retornar a una situación de equilibrio dinámico similar a la inicial.	Irrecuperable	3	Si el elemento ambiental afectado no puede ser recuperado.
		Poco recuperable	2	Señala un estado intermedio donde la recuperación será dirigida y con ayuda humana.
		Recuperable	1	Si el elemento ambiental afectado puede volver a un estado similar a la inicial en forma natural.
Riesgo	Expresa la probabilidad de ocurrencia del impacto	Alto	3	Existe la certeza de que el impacto se produzca en forma real
		Medio	2	La condición intermedia de duda de que se produzca o no el impacto.
		Bajo	1	No existe la certeza de que el impacto se produzca, es una probabilidad.
Magnitud e Importancia del Impacto	La magnitud y la importancia son parámetros que deben ser calculados, sobre la base de los valores de escala dados a las variables señaladas			

En la tabla 85 presentada a continuación, los criterios de Valoración de Impactos Ambientales, se presenta los valores que deberán ser asignados en base a las variables analizadas.

Se realizará el cálculo de la magnitud de los impactos, la cual constituye una valoración del efecto de la acción, por lo que su cálculo se basará en la sumatoria acumulada de los valores de las variables intensidad, extensión y duración. Para lo que se deberán asumir los siguientes valores de peso:

- Peso del criterio de intensidad: 0,40
- Peso del criterio de extensión: 0,40
- Peso del criterio de duración: 0,20

La fórmula que se utilizará para calcular la magnitud del impacto para cada una de las interacciones ambientales identificadas es:

$$\mathbf{M = (0,40i) + (0,40e) + (0,20d)}$$

Además, se calculará la importancia la cual está en función de las características del impacto, y la misma se deduce a la sumatoria acumulada de la extensión, reversibilidad y riesgo. Se deberán asumir los siguientes valores de peso:

- Peso del criterio de extensión: 0,30
- Peso del criterio de reversibilidad: 0,20
- Peso del criterio de riesgo: 0,50

La fórmula que deberán utilizar para calcular la importancia del impacto para cada una de las interacciones ambientales identificadas es:

$$\mathbf{I = (0,30e) + (0,20r) + (0,50g)}$$

La interpretación de los resultados obtenidos, de la magnitud e importancia del impacto se valorarán de acuerdo a la siguiente tabla denominada Escala de Valoración de la Magnitud e Importancia del Impacto (Greeley and Hansen, 2017).

Tabla 85: Escala de valoración de la magnitud e importancia de impacto. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Escala de valores estimados	Valoración del impacto
1.0 – 1.6	Bajo
1.7 – 2.3	Medio
2.4 – 3.0	Alto

Para finalizar se definirá la severidad de los impactos como el nivel de impacto ocasionado sobre el componente ambiental. Dicho valor se obtendrá multiplicando la magnitud por la importancia antes calculada. El resultado se deberá comparar con la escala de valores asignados para el efecto que se presenta en la siguiente tabla de escala de Valoración de la Severidad del Impacto (Greeley and Hansen, 2017).

Tabla 86: Escala de valoración de la severidad del impacto. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Escala de valores estimados	Valoración del impacto
1.0 – 1.6	Poco significativo
1.7 – 2.3	Medianamente significativo
2.4 – 3.0	Altamente significativo

## 10.6.2 Actividades generadoras de impactos

A continuación, se indican las principales acciones que generarían los posibles impactos ambientales.



Tabla 87: Acciones generadoras de impactos ambientales en la etapa de construcción. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Impactos ambientales en la etapa de construcción			
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado
Conformación de Plataformas labores de corte y relleno, desalojo de escombros.	Aire	Calidad de aire	Generación de material particulado y ruido por movimientos de tierra y nivelación del terreno.
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo dando lugar a erosión y compactación.
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Modificación del relieve natural del terreno por las labores de terraceo, corte y relleno.
Construcción de campamentos y áreas de almacenamientos de materiales	Aire	Calidad del Aire	Alteración de la calidad del aire por presencia de material particulado
	Agua	Calidad de Agua	Contaminación del agua y suelo por generación de aguas servidas.
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad de suelo por residuos sólidos generados en la adecuación de campamentos.
Excavación y desalojos para la construcción de obras civiles	Aire	Calidad del Aire	Afección a la calidad del aire por generación de material particulado, gases de combustión (vehículos y maquinaria pesada), incremento del nivel sonoro.
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo por movimiento de tierras
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Deterioro del paisaje excavaciones y presencia de maquinaria pesada
	Socioeconómico	Salud y seguridad	Accidentes de los obreros por labores en excavaciones profundas
Construcción de obras civiles, hidráulicas y de vialidad	Aire	Calidad de aire	Deterioro de la calidad de aire por generación de material particulado y ruido
	Agua	Calidad del agua	Alteración de la calidad del agua superficial, por descarga de efluentes y por inadecuado manejo de desechos sólidos en el área de influencia del proyecto
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo, generado principalmente por derrame de líquidos, combustibles, aditivos, y residuos sólidos como cemento, recipientes plásticos contaminados, residuos metálicos, etc.; generados en la construcción
	Socioeconómico	Seguridad	Accidentes por la entrada y salida de vehículos y equipo de construcción

Impactos ambientales en la etapa de construcción			
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado
		Calidad de vida	Conflictos de tránsito y transporte por el acarreo de materiales, suministros y herramientas
		Empleo	Generación de fuentes de trabajo en el sector
		Salud y seguridad	Accidentes laborales por aplicación de procedimientos constructivos inseguros, falta de señalización y uso de equipos de protección personal inapropiados en las actividades del proyecto
Suministro e instalación de equipos	Aire	Calidad de Aire	Generación de ruido y polvo por entrada y salida de vehículos
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo, generado principalmente por residuos sólidos generados
	Socioeconómico	Calidad de vida	Molestias por entrada y salida de vehículos
		Salud y seguridad	Accidentes con el personal técnico en la instalación de equipos y pruebas de funcionamiento.
Manejo y disposición de escombros y material sobrante	Aire	Calidad de aire	Generación de material particulado en carga y descarga de escombros
	Cultural	Estético/Paisajístico	Afección estética y paisajística del sector por actividades como: ingreso y salida de vehículos llenos de material a desalojar

Tabla 88: Acciones generadoras de impactos ambientales en la etapa de operación. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Impactos ambientales en la etapa de operación			
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado
Sistema de Pretratamiento	Aire	Calidad del aire	Generación de olores y gases
	Suelo	Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos
	Socioeconómico	Calidad de vida	Molestias a la comunidad por generación de olores
Bombeo	Aire	Calidad del Aire	Generación de olores y gases
Sistema de Tratamiento primario	Suelo	Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos
Sistema de tratamiento secundario	Suelo	Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos
	Socioeconómico	Calidad de vida	Generación de ruido efecto del funcionamiento de los sopladores
		Salud y seguridad	Accidentes laborales por no seguir procedimientos de trabajo
Desinfección	Socioeconómico	Salud y seguridad	Accidentes laborales por no seguir procedimientos de trabajo
Descarga final al arroyo	Agua	Calidad del agua	Contaminación del agua por deficiencias en el proceso de depuración
Sistema de Tratamiento de lodos	Aire	Calidad del aire	Generación de olores y gases
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Mala disposición de lodos que salen del proceso de tratamiento
	Social	Calidad de vida	Molestias a la comunidad por generación de olores
Limpieza y mantenimiento preventivo y correctivo del sistema	Agua	Calidad del agua	Aguas residuales producto de la limpieza del sistema
	Suelo	Calidad del suelo	Disposición inadecuada residuos generados del proceso de mantenimiento como grasa, lubricantes, etc
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Afecciones estéticas y ambientales por falta de mantenimiento de la PTAR y de las áreas verdes dentro de las instalaciones
	Socioeconómico	Salud y seguridad	Accidentes laborales, por no seguir procedimientos adecuados de trabajo
		Calidad de vida	Molestias a la comunidad por entrada y salida de vehículos y equipo de mantenimiento de la planta.
Proceso de depuración completo	Agua	Calidad del agua	Se depurarán las aguas servidas, con lo cual se precautelará la calidad del agua del arroyo Claro, recuperándose usos importantes como el estético, recreativo y la propagación de especies
			Socioeconómico
	Empleo	Generación de fuentes de trabajo	

Tabla 89: Acciones generadoras de impactos ambientales en la etapa de abandono. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Impactos ambientales en la etapa de abandono			
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado
Planificación del cierre	Socioeconómico	Calidad de vida	Suspensión del servicio de tratamiento de aguas residuales
Generación y Transporte de Escombros	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo por la Generación de desechos y escombros
	Aire	Calidad de aire	Alteración de la calidad del aire por presencia de material particulado y ruido

### 10.6.3 Factores ambientales afectados

A continuación, se presentan los factores que serían afectados negativamente por las actividades del Proyecto.

Tabla 90: Factores ambientales susceptibles a recibir impactos. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

N°	Factores	Impacto o efecto
<b>Componente Abiótico</b>		
Medio físico	Calidad de Aire	Se prevé la generación de polvo por la excavación, la carga y descarga de materiales de construcción y por las actividades de construcción. La entrada y salida de vehículos afectará también en menor medida la calidad de aire, así como el desalojo de materiales. El ruido proviene de la mayoría de las actividades del proceso de preparación de sitio y construcción generarán contaminación acústica de carácter temporal, puntual y discontinuo que será objeto de medidas de reducción. En la etapa de operación se prevé la generación de malos olores y gases.
	Calidad de Agua	Considerando las actividades del proyecto demandarán recurso hídrico en los procesos de preparación de sitio y de construcción. Durante la construcción generarán vertidos líquidos provenientes del lavado de carretillas, palas y entre otros, también se considera las aguas grises generados por los trabajadores. Contaminación del río por deficiencias operativas.
	Calidad del Suelo	Cambios en la calidad del suelo por generación de residuos sólidos, así como la remoción de tierras y compactación. Generación y disposición inadecuada de lodos, material sedimentable y otros residuos. Alteración de la calidad del suelo, generado principalmente por derrame de líquidos, combustibles, aditivos, y residuos sólidos como cemento, recipientes plásticos contaminados, residuos metálicos, etc.; generados en la construcción.
<b>Componente Biótico</b>		
Medio biótico	Flora	Este es afectado por el desbroce de la capa vegetal y deterioro de las plantas existentes y por la acumulación de escombros sobre la cobertura vegetal.
	Fauna	Afecta a la fauna en general por los ruidos generados de las maquinarias, semipesados, equipos menores en funcionamiento. Bajo este contexto, las especies se desplazan hacia donde encuentran menos perturbación para su hábitat.
<b>Componente Social</b>		
Medio Socio – económico	Generación de empleo	Las distintas etapas del proyecto generarán empleo temporal, lo cual se considera un impacto positivo neto. Además del empleo Indirecto generado por servicios de vigilancia, limpieza, mantenimiento, etc.
	Calidad de vida	La calidad de vida en la fase de construcción será afectada por el polvo, ruidos, olores y la disposición inadecuada de los residuos sólidos sobre el espacio físico, estos efectos serán de carácter temporal.
	Seguridad ocupacional	En las diferentes actividades constructivas y en el mantenimiento del sistema de tratamiento de agua se presentarán riesgos a la seguridad, por lo que se utilizará el equipo de protección personal adecuado a cada actividad de los trabajadores. También se implementará el plan de seguridad e higiene ocupacional del proyecto.
	Cultural- Paisajístico	La afectación a la calidad paisajística, se debe a las actividades de la fase de construcción del sistema de tratamiento de agua; también afectaría al paisaje la disposición inadecuada de los residuos sólidos, restos de la construcción y escombros.

## 10.6.4 Resultados de análisis matricial

### Fase de construcción

Las interacciones resultantes entre actividades y los medios en sus respectivos componentes en la fase de construcción han contabilizado en 25 de las cuales un 96,0% son negativas (50% poco significativos; 50% medianamente significativas) y un 4% son positivas.

Tabla 91: Número de impactos identificados en la etapa de construcción. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Resultados	Número de impactos					
	Impactos negativos			Impactos positivos		
	Poco	Med	Alto	Poco	Med	Alto
Subtotal por severidad	12	12	0	0	1	0
Porcentaje por severidad (%)	50	50	0	0	100	0
Subtotal por Naturaleza	24			1		
Porcentaje subtotal	96			4		
Total	25					

### Fase de operación

Tabla 92: Número de impactos identificados en la etapa de operación. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Resultados	Número de impactos					
	Impactos negativos			Impactos positivos		
	Poco	Med	Alto	Poco	Med	Alto
Subtotal por severidad	6	14	0	0	2	1
Porcentaje por severidad (%)	30	70	0	0	66,67	33,33
Subtotal por Naturaleza	20			3		
Porcentaje subtotal	86,96			13,04		
Total	23					

## Fase de abandono

Tabla 93: Número de impactos identificados en la etapa de abandono. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Resultados	Número de impactos					
	Impactos negativos			Impactos positivos		
	Poco	Med	Alto	Poco	Med	Alto
Subtotal por severidad	1	1	1	0	0	0
Porcentaje por severidad (%)	33,33	33,33	33,33	0	0	0
Subtotal por Naturaleza	3			0		
Porcentaje subtotal	100			0		
Total	3					

## 10.6.5 Evaluación de los impactos y determinación de su significación

### Etapa de construcción

En la etapa de construcción se identificaron 11 impactos medianamente significativos diferenciados para cada actividad. Entre los impactos en los cuales se debe tomar atención están los siguientes: (Greeley and Hansen, 2017)

- Alteración de la calidad de aire por presencia de material particulado, por la construcción de campamentos y almacenamiento de materiales. Para la implementación de campamentos y bodegas provisionales se realizará actividades de desbroce y preparación del terreno, lo que dará lugar a la generación de material particulado.
- Contaminación del agua y suelo por la generación de aguas cloacales durante la construcción de la planta. Las oficinas existentes están lejos y no podrán ser accesibles para todos los trabajadores de la obra.
- Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado, gases de combustión e incremento del nivel sonoro. Un gran impacto es el ruido generado por

la maquinaria empleada, así como la emisión de gases y partículas producto de la combustión interna de los motores.

- Accidentes de los obreros por labores de excavaciones profundas.
- Alteración de la calidad del agua superficial, por descarga de efluentes y por inadecuado manejo de desechos sólidos en el área de influencia del proyecto, si no se da manejo adecuado a los desechos comunes y escombros, así como también a los efluentes.
- Alteración de la calidad del suelo, generado principalmente por derrame de líquidos, combustibles, aditivos y residuos sólidos como cemento, recipientes plásticos contaminados, residuos metálicos, etc, generado por actividades propias de la construcción.
- Accidentes por entrada y salida de vehículos y equipo de construcción. Al estar ubicada la planta en una zona de alta afluencia vehicular la constante entrada y salida de vehículos cargados con materiales para la construcción, así como también para el desalojo de escombros puede dar lugar a accidentes de tránsito.
- Conflictos de tránsito y transporte por el acarreo de materiales, suministros y herramientas, como se mencionó anteriormente el sitio está ubicado en una zona de alta afluencia vehicular por lo que la entrada y salida de vehículos puede ocasionar alteración en el tráfico vehicular si no se toman las medidas pertinentes.
- Accidentes del personal técnico en la instalación de equipos y pruebas de funcionamiento, si el personal no está formado y capacitado para esta actividad puede dar paso a accidentes laborales e incluso daños en el equipo.
- Afección estética y paisajística del sector por actividades como: ingreso y salida de vehículos llenos del material a desalojar. Durante la etapa constructiva se verá deteriorado el paisaje de la zona debido al equipo constructivo en operación y transporte de escombros.
- Como impacto positivo está la generación de fuentes de trabajo en el sector.

### **Etapa de operación**

- Generación de olores y gases, en el proceso de pretratamiento. Son lugares confinados en donde llega el agua residual cruda dando lugar a la generación de malos olores.



- Afección a los trabajadores por concentración de gases en el sistema de pretratamiento y por no seguir procedimientos de trabajo, son áreas peligrosas donde se generan gases asfixiantes que puede generar incluso la muerte del trabajador sino no toman las medidas y procedimientos adecuados.
- Molestias a la comunidad por generación de malos olores especialmente en la etapa de pretratamiento.
- Alta generación de lodos de desecho en el sistema de tratamiento secundario.
- Generación de ruido efecto del funcionamiento de los sopladores, estos son utilizados en los reactores biológicos para suministrar aire al proceso.
- Contaminación del agua por deficiencias en el proceso de depuración, un impacto considerable para el medio ambiente sería no llegar a la eficiencia del sistema que se espera debido a fallas en el proceso de depuración y verter el efluente con parámetros por encima de lo permitido por la normativa ambiental vigente.
- Disposición inadecuada de residuos generados del proceso de mantenimiento de los equipos e instalaciones, como grasa, lubricantes, piezas de repuesto, etc. Si no se cuenta con un sitio específico y adecuado de almacenamiento de residuos empleados en el mantenimiento de los equipos de la PTEL estos pueden dar lugar a la contaminación del suelo y por acción de la lluvia escorrentía puede llegar a contaminar el río.

### **Etapa de cierre y abandono**

- Suspensión del servicio de tratamiento de aguas residuales, este impacto sería altamente significado para el medio ambiente, como se mencionó este es un proyecto benéfico sobre todo para preservar las características físico químicas y biológicas del río Cuenca, por lo que su suspensión daría lugar al vertimiento de las aguas grises directamente a este cuerpo de agua causando su deterioro.
- Alteración de la calidad del suelo por la Generación de desechos y escombros, una vez que se haya terminado la vida útil de la PTEL todas sus instalaciones y equipamiento deberá ser demolido para el empleo del área en otras actividades, lo que dará lugar a la generación de una gran cantidad de desechos y escombros.

## 10.6.6 Matriz de valoración de impactos fase de construcción

Tabla 94: Matriz de Valoración de impactos para la fase de construcción. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Fase de construcción																
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado	Calificación de impactos ambientales											Total (M*I)	Severidad
				C	Magnitud (M)				Importancia (I)				Total	Severidad		
					i	e	d	Calific	Escala	e	r	g				
Conformación de Plataformas labores de corte y relleno, desalojo de escombros	Aire	Calidad de aire	Generación de material particulado y ruido por movimientos de tierra y nivelación del terreno.	-1	2	1	3	1.8	Medio	1	2	2	1,7	Medio	-3.06	Poco Significativo
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo dando lugar a erosión y compactación.	-1	1	1	3	1.4	Bajo	1	2	2	1.7	Medio	-2.38	Poco Significativo
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Modificación del relieve natural del terreno por las labores de terraceo, corte y relleno.	-1	2	1	1	1.4	Bajo	1	1	2	1.5	Bajo	-2.10	Poco Significativo
Construcción de campamentos y áreas de almacenamientos de materiales	Aire	Calidad del Aire	Alteración de la calidad del aire por presencia de material particulado.	-1	2	2	2	2	Medio	2	1	2	1.8	Medio	-3.6	Medianamente Significativo
	Agua	Calidad de agua	Contaminación del agua y suelo por generación de aguas servidas.	-1	2	1	2	1.6	Bajo	1	2	3	2.2	Medio	-3.52	Medianamente Significativo

Fase de construcción

	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad de suelo por residuos sólidos generados en la adecuación de campamentos.	-1	1	1	2	1.2	Bajo	1	2	2	1.7	Medio	-2.04	Poco Significativo
Excavación y desalojos para la construcción de la planta.	Aire	Calidad del aire	Afección a la calidad del aire por generación de gases de combustión (vehículos y maquinaria pesada), incremento del nivel sonoro.	-1	2	2	2	2	Medio	2	1	2	1.8	Medio	-3.6	Medianamente Significativo
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo por movimiento de tierras.	-1	2	1	3	1.8	Medio	1	3	1	1.4	Bajo	-2.52	Poco Significativo
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Deterioro del paisaje excavaciones y presencia de maquinaria pesada.	-1	2	1	2	1.6	Bajo	1	1	2	1.5	Bajo	-2.4	Poco Significativo
	Socio económico	Salud y seguridad	Accidentes de los obreros por labores en excavaciones profundas	-1	2	1	2	1.6	Bajo	1	2	3	2.2	Medio	-3.52	Medianamente Significativo
Construcción de obras civiles hidráulicas y de vialidad	Aire	Calidad de aire	Deterioro de la calidad de aire por generación de material particulado y ruido	-1	2	1	1	1.4	Bajo	2	1	2	1.8	Medio	-2.52	Poco Significativo
	Agua	Calidad del agua	Alteración de la calidad del agua superficial, por	-1	2	2	2	2	Medio	2	2	2	2	Medio	-4	Medianamente Significativo

Fase de construcción

			descarga de efluentes y por inadecuado manejo de desechos sólidos en el área de influencia del proyecto.														
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo, generado principalmente por derrame de líquidos, combustibles, aditivos, y residuos sólidos como cemento, recipientes plásticos contaminados, residuos metálicos, etc.; generados en la construcción	-1	2	1	2	1.6	Bajo	1	2	3	2.2	Medio	-3.52	Medianamente Significativo	
	Socio económico	Seguridad	Accidentes por la entrada y salida de vehículos y equipo de construcción.	-1	2	2	2	2	Medio	2	2	3	2.5	Alta	-5	Medianamente Significativo	
		Calidad de vida	Conflictos de tránsito y transporte por el acarreo de materiales, suministros y herramientas	-1	2	2	2	2	Medio	2	1	2	1.8	Medio	-3.6	Medianamente Significativo	

Fase de construcción

		Empleo	Generación de fuentes de trabajo en el sector	1	3	2	2	2.4	Alta	2	2	3	2.5	Alta	6	Medianamente Significativo
		Salud y seguridad	Accidentes laborales por aplicación de procedimientos constructivos inseguros, falta de señalización y uso de equipos de protección personal inapropiados en las actividades del proyecto.	-1	3	1	2	2	Medio	1	3	3	2.4	Alta	-4.8	Medianamente Significativo
Suministro e instalación de equipos	Aire	Calidad de aire	Generación de ruido por entrada y salida de vehículos	-1	1	1	2	1.2	Bajo	2	1	2	1.8	Medio	-2.16	Poco Significativo
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo, generado principalmente por residuos sólidos generados	-1	1	1	2	1-2	Bajo	1	2	2	1.7	Medio	-2.04	Poco Significativo
	Socio económico	Calidad de vida	Molestias por entrada y salida de vehículos	-1	1	1	2	1.2	Bajo	1	1	2	1.5	Bajo	-1.8	Poco Significativo
		Salud y seguridad	Accidentes del personal técnico en la instalación de equipos y pruebas de funcionamiento.	-1	2	2	1	1.8	Medio	1	1	3	2	Medio	-3.6	Medianamente Significativo
Manejo y disposición de escombros	Aire	Calidad de aire	Generación de material particulado en carga y descarga de escombros	-1	1	1	1	1	Bajo	1	1	2	1.5	Bajo	-1.5	Poco Significativo

Fase de construcción

	Cultural	Estético/ Paisajístico	Afección estética y paisajística del sector por actividades como: ingreso y salida de vehículos llenos del material a desalojar	-1	2	2	2	2	Medio	2	1	3	2.3	Medio	-4.6	Medianamente Significativo
--	----------	---------------------------	---	----	---	---	---	---	-------	---	---	---	-----	-------	------	----------------------------

## 10.6.6 Matriz de valoración de impactos fase de operación

Tabla 95: Matriz de Valoración de impactos para la fase de operación. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Fase de operación																	
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado	Calificación de impactos ambientales												Total (M*I)	Severidad
				C	Magnitud (M)				Importancia (I)				Total	Severidad			
					i	e	d	Calific	Escala	e	r	g			Calific		
Sistema de Pretratamiento	Aire	Calidad de aire	Generación de olores y gases	-1	2	2	3	2.2	Medio	2	1	3	2.3	Medio	-5.06	Medianamente Significativo	
	Suelo	Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos	-1	2	2	3	1.8	Medio	1	1	2	1.5	Bajo	-2.7	Poco Significativo	
	Socio económico	Salud y seguridad	Afección a los trabajadores por concentración de gases, y por no seguir procedimientos de trabajo	-1	2	1	1	1.4	Bajo	1	3	3	2.4	Alta	-3.36	Medianamente Significativo	
		Calidad de vida	Molestias a la comunidad por generación de olores	-1	2	2	3	2.2	Medio	2	2	2	2	Medio	-4.4	Medianamente Significativo	
Estación de bombeo	Aire	Calidad del aire	Generación de olores y gases	-1	2	2	3	2.2	Medio	2	1	3	2.3	Medio	-5.06	Medianamente Significativo	
Sistema de Tratamiento Primario	Suelo	Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos	-1	2	1	3	1.8	Medio	1	1	2	1.5	Bajo	-2.7	Poco Significativo	
	Suelo	Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos	-1	2	1	3	1.8	Medio	2	2	2	2	Medio	-3.6	Medianamente Significativo	

Fase de operación																
Sistema de Tratamiento secundario	Socio económico	Calidad de vida	Generación de ruido efecto del funcionamiento de los sopladores	-1	3	1	2	2	Medio	2	1	2	1.8	Medio	-3.6	Medianamente Significativo
		Salud y seguridad	Accidentes laborales por no seguir procedimientos de trabajo	-1	2	1	1	1.4	Bajo	1	3	3	2.4	Alta	-3.36	Medianamente Significativo
Desinfección	Socio económico	Salud y seguridad	Accidentes laborales por no seguir procedimientos de trabajo	-1	1	1	2	1.2	Bajo	1	3	3	2.4	Alta	-2.88	Poco Significativo
Descarga final	Agua	Calidad del agua	Contaminación del agua por deficiencias en el proceso de depuración	-1	2	3	2	2.4	Alta	3	2	2	2.3	Medio	-5.52	Medianamente Significativo
Sistema de Tratamiento de lodos	Aire	Calidad del aire	Generación de malos olores y de gases	-1	2	2	3	2.2	Medio	2	1	2	1.8	Medio	-3.96	Medianamente Significativo
	Cultural	Estético/ Paisajístico	Mala disposición de lodos que salen del proceso de tratamiento	-1	1	1	1	1	Bajo	2	1	3	2.3	Medio	-2.3	Poco Significativo
	Socio económico	Calidad de vida	Molestias a la comunidad por generación de olores	-1	2	2	2	2	Medio	2	2	3	2.5	Alta	-5	Medianamente Significativo
Limpieza y mantenimiento preventivo y correctivo del sistema	Agua	Calidad del agua	Aguas residuales producto de la limpieza del sistema	-1	1	1	3	1.4	Bajo	1	1	2	1.5	Bajo	-2.1	Poco Significativo
	Suelo	Calidad del suelo	Disposición inadecuada residuos generados del proceso de mantenimiento	-1	2	1	2	1.6	Bajo	1	2	3	2.2	Medio	-3.52	Medianamente Significativo



Fase de operación																
			como grasa, lubricantes, etc.													
	Socio económico	Salud y Seguridad	Accidentes laborales, por no seguir procedimientos adecuados de trabajo	-1	2	1	3	1.8	Medio	1	2	3	2.2	Medio	-3.96	Medianamente Significativo
		Calidad de vida	Molestias a la comunidad por entrada y salida de vehículos y equipo de mantenimiento de la planta.	-1	1	2	2	1.6	Bajo	2	1	2	1.8	Medio	-2.88	Poco Significativo
	Agua	Calidad del agua	Se depurarán las aguas servidas	1	3	3	3	3	Alta	3	2	3	2.8	Alta	8.4	Altamente Significativo
Proceso de Depuración completo	Socio económico	Salud y Seguridad	Afección a la salud por aplicación de procedimientos de operación y mantenimiento inseguros, falta de señalización y uso de equipos de protección personal inapropiados en las actividades de operación de la planta.	-1	2	1	3	1.8	Medio	1	2	3	2.2	Medio	-3.96	Medianamente Significativo
		Empleo	Generación de fuentes de trabajo	1	2	2	3	2.2	Medio	2	1	2	1.8	Medio	3.96	Medianamente Significativo

### 10.6.7 Matriz de valoración de impactos fase de cierre y abandono

Tabla 96: Matriz de Valoración de impactos para la fase de cierre y abandono. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Fase de cierre y abandono																	
Actividades	Componente	Aspecto Ambiental	Resultado	Calificación de impactos ambientales												Total (M*I)	Severidad
				C	Magnitud (M)				Importancia (I)				Total	Severidad			
					i	e	d	Calific	Escala	e	r	g			Calific		
Planificación del cierre	Socio económico	Calidad de vida	Suspensión del servicio de tratamiento de aguas residuales	-1	3	3	3	3	Alta	3	3	3	3	Alta	-9	Altamente Significativo	
Generación y Transporte de escombros	Aire	Calidad del aire	Alteración de la calidad del aire por presencia de material particulado y ruido	-1	1	2	1	1.4	Bajo	2	1	2	1.8	Medio	-2.52	Poco Significativo	
	Suelo	Calidad del suelo	Alteración de la calidad del suelo por la Generación de desechos y escombros	-1	2	2	2	2	Medio	2	2	3	2.5	Alta	-5	Medianamente Significativo	

## 10.7 Análisis de riesgos

Para la evaluación de riesgos en este aspecto se utilizará la metodología del Método simplificado de evaluación de riesgos (Greeley and Hansen, 2017).

La metodología aplicada permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y, en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección. Los principios que rigen la evaluación de riesgos para este método son (Greeley and Hansen, 2017):

- i. Determinar la gravedad de pérdidas potenciales como resultado del peligro identificado (leve, moderado, grave, catastrófico, etc.)
- ii. Determinar la frecuencia con la que se hayan producido o pudieran producirse pérdidas (muy baja, baja, media, alta, etc.)
- iii. Determinar la probabilidad de que se produzca una pérdida como resultado de que el peligro identificado se encuentre presente durante un hecho determinado.

El propósito principal de evaluar riesgos es identificar y ordenar por categoría las actividades y/o condiciones que presentan riesgos de pérdida asociada con esta actividad y/o condición y riesgos a los componentes ambientales. Se pueden aplicar las prioridades adecuadas al desarrollo e implementación del sistema de manejo del control de riesgos a fin de reducir o eliminar riesgos, comenzando con las de más alto riesgo, hasta las de bajo riesgo (Greeley and Hansen, 2017).

### 10.7.1 Parámetros de evaluación

Los riesgos se han ordenado por medio de la asignación de valores a los niveles de seguridad y frecuencia con que ocurren (o posibilidad de que ocurran), luego combinar estos valores a fin de calcular un factor de riesgo relativo para un peligro en particular.

Tabla 97: Probabilidad de ocurrencia. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Frecuencia		Descripción
Número	Letra	
1	Muy baja	No se espera que ocurra en la vida útil de la instalación.
2	Baja	Se espera que ocurra una vez cada 5 a 20 años.
3	Media	Se espera que ocurra una vez cada 1 a 5 años.
4	Alta	Se espera que ocurra al menos una vez al año.

Tabla 98: Gravedad del riesgo. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Número	Letra	Descripción
1	Bajo	El accidente/evento no causará daño significativo al ambiente y no producirá daños disfuncionales o lesiones en los trabajadores.
2	Moderado	El accidente /evento dañará el medioambiente, daños mayores o lesiones al personal, pudiéndose ser controladas adecuadamente.
3	Crítico	El accidente/evento dañará el ambiente a nivel regional y/o causará lesiones al personal, daños sustanciales en un riesgo inaceptable necesitando acciones correctivas inmediatas
4	Catastrófico	El accidente/evento producirá daños irreversibles al medio ambiente a nivel nacional.

## 10.7.2 Categorización del riesgo de acuerdo al rango

Para la categorización del Riesgo se utilizará la siguiente fórmula:

$$R = \text{Gravedad} \times \text{Frecuencia}$$

Tabla 99: Valores de categorización del riesgo. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Categorización del riesgo	
Riesgo	Valor
Bajo	1 a 3
Medio	4 a 6
Grave	7 a 9
Crítico	10 a 16

Tabla 100: Matriz de categorización del riesgo. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

		GRAVEDAD			
		1	2	3	4
FRECUENCIA	A	1	2	3	4
	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

Tabla 101: Análisis de riesgo. Fuente: (Greeley and Hansen, 2017)

Descripción de la actividad	Frecuencia	Gravedad	Riesgo	Categorización
Incendios	1	3	6	Medio
Fallas mecánicas (técnicas)	2	3	6	Bajo
Fallas operativas	2	3	6	Medio
Explosión	1	2	2	Bajo
Otros: Riesgo en la salud de los trabajadores	4	1	4	Medio
Otro: Colapso de tanques	1	3	3	Bajo
Otros: Riesgos sobre la población	2	1	2	Bajo

## **10.8 Plan de Gestión Ambiental**

En este apartado, se desarrollarán los lineamientos y acciones que, en conjunto, constituyen el denominado Plan de Gestión Ambiental (PGA) del proyecto. El PGA, contiene una importante cantidad de alternativas de gestión, son un conjunto de acciones que deberán adoptarse, para minimizar los impactos negativos y potenciar los impactos positivos, que generarán las diferentes etapas del desarrollo de la obra (Autoridad de Cuenca Matanza - Riachuelo, 2015)

Dentro de este programa se considera los siguientes programas para el manejo ambiental:

- Programa de Seguimiento y Control
- Programa de Capacitación
- Programa de Seguridad e Higiene
- Programa de Responsabilidades y Comunicación
- Programa de Contingencias Ambientales
- Programa de Auditorías Ambientales

En cada uno de los programas que componen el PMA, las medidas se adoptaran de acuerdo a los siguientes elementos: aspecto ambiental, el impacto identificado, las medidas propuestas, los indicadores, los medios de verificación, el periodo y frecuencia.

### **10.8.1 Programa de Seguimiento y Control (PSC)**

El PSC contiene los procedimientos necesarios para minimizar los impactos ambientales potencialmente adversos durante la construcción y sus instalaciones de superficie relacionadas (Toto, 2018).

Los principales objetivos del PSC a ser implementados son los siguientes:

- Salvaguardar la calidad ambiental en el área de influencia del proyecto.

- Preservar los recursos sociales y culturales.
- Garantizar que la implementación y desarrollo del proyecto se lleve a cabo de manera ambientalmente responsable.
- Ejecutar acciones específicas para prevenir los impactos ambientales pronosticados y, si se produjeran, para mitigarlos.
- Realizar el control y monitoreo ambiental de las medidas de protección ambiental establecidas, en función de evaluar el grado de efectividad de éstas y, de corresponder, generar las acciones para optimizar su cumplimiento.

El PSC será aplicado teniendo en cuenta los resultados específicos obtenidos en la identificación y análisis de impactos ambientales.

Adicionalmente, durante el desarrollo de las obras se llevarán a cabo tareas de control y monitoreo de las medidas de protección ambiental elaboradas, en función de evaluar el grado de efectividad y cumplimiento de estas. (Toto, 2018)

### **10.8.2 Programa de Capacitación (PCA)**

El PCA, marcará los lineamientos básicos para capacitar al personal en temas ambientales durante el desarrollo de la obra. La aplicación efectiva del programa se alcanzará a través de la concientización y capacitación de todo el personal afectado a la obra (Toto, 2018).

Los objetivos del PCA son:

- Conocer la normativa ambiental y de seguridad, higiene y salud ocupacional a nivel nacional, provincial y municipal.
- Proporcionar información al personal afectado a la construcción sobre aspectos de seguridad y medio ambiente.
- Capacitar a todo el personal involucrado en el proyecto en lo relacionado con medidas de prevención de seguridad, higiene y salud ocupacional y medidas de mitigación ambiental.

- Conocer los posibles impactos ambientales asociados al proyecto y las medidas de protección ambiental específicas.

Se capacitará a todo el personal con el fin de dar a conocer los impactos ambientales que las tareas desarrollar provocarán y las acciones a implementar para que cada operario contribuya a minimizar los mencionados impactos. Se controlará la asistencia del personal a la capacitación (Toto, 2018).

La inducción está dirigida a los trabajadores que ingresan a la obra y está orientada a informarles sobre las normas y procedimientos de medio ambiente, entre otras. Todo trabajador, al ser contratado por la empresa recibirá una charla de inducción completa, antes de ser enviado a sus labores (Toto, 2018).

En ésta se detallan y explican temas como:

- Riesgos potenciales a los cuales estarán expuestos en el desempeño de sus labores diarias e impactos ambientales asociados.
- Normas de Seguridad e Higiene y Ambiente (SHA).
- Prevención de accidentes ambientales.
- Enfermedades profesionales e higiene industrial.
- Prevención de incendios.
- Protección ambiental.
- Uso y cuidado de las herramientas de trabajo.
- Cuidado de las instalaciones.
- Medidas a tomar en caso de accidentes.
- Orden y limpieza.
- Normas y procedimientos de la empresa.
- Manejo de residuos.
- Derrames y contingencias ambientales.



- Razones e importancia del cuidado del ambiente, incluyendo aspectos del medio físico y socio ambiental.
- Legislación que rige en materia ambiental en el lugar de emplazamiento de la obra (municipal, provincial, nacional).

Todos los trabajadores deberán llenar el formato de constancia de capacitación, en señal de haber recibido la inducción correspondiente. Estos formatos serán archivados por el representante de medio ambiente del proyecto para sus controles estadísticos.

### **10.8.3 Programa de Seguridad e Higiene (PSH)**

El presente Programa de Seguridad e Higiene especificará de forma preliminar las medidas de prevención y recaudos a adoptar, en función de garantizar que las tareas a desarrollarse se ejecuten en forma segura y previniendo la ocurrencia de incidentes o accidentes laborales. (Toto, 2018)

Los objetivos del PSH son:

- Cumplir con las leyes de seguridad, higiene y salud ocupacional nacional, provincial y municipal.
- Establecer un procedimiento de seguridad, higiene y salud ocupacional para los contratistas y trabajadores del proyecto.
- Proporcionar información al personal afectado a la construcción sobre seguridad, higiene y salud ocupacional.
- Controlar y verificar que los riesgos de las actividades desarrolladas.
- Capacitar a todo el personal involucrado en el proyecto en lo relacionado con medidas de prevención de seguridad, higiene y salud ocupacional.
- Dar respuesta a situaciones como accidentes que afecten a las personas

El PSH contiene los procedimientos que deben ser implementados por el personal del proyecto en todo lo relacionado con Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional.

Asimismo, la obra contará con un Programa de Seguridad (aprobado por la ART y en cumplimiento de las Res. SRT 231/96– 51/97– 35/98 y Dec. 911 del Ministerio de Trabajo y normativa complementaria), el cuál será desarrollado por el Contratista que realizará la obra, una vez que la misma haya sido adjudicada (Toto, 2018).

A continuación, se mencionan a modo indicativo y hasta que se confeccione el programa de seguridad específico que deberá aprobar la ART, los riesgos laborales identificados para el tipo de obra en cuestión (Toto, 2018):

- Aplastamiento / Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos.
- Caída de objetos en manipulación.
- Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.
- Caída de personas a distinto nivel.
- Caída de personas al mismo nivel.
- Caída de objetos desprendidos.
- Choques y golpes contra objetos inmóviles.
- Choques y golpes contra objetos móviles.
- Contacto / Exposición con sustancias peligrosas.
- Contacto eléctrico.
- Contacto térmico.
- Daños causados por seres vivos (arácnidos, ofidios, roedores, etc.)
- Explosión
- Golpes y cortes por objetos o herramientas.
- Iluminación inadecuada
- Incendio.
- Malas pisadas sobre objetos.
- Posturas inadecuadas o movimiento repetitivos.
- Proyección de fragmentos o partículas.
- Rotura de mangueras presurizadas.

- Sobreesfuerzos al levantar o mover objetos.

Las superficies de desplazamiento en el área de trabajo deben estar libres de obstáculos a los efectos de evitar caídas, golpes y malas pisadas.

#### **10.8.4 Programa de comunicaciones y responsabilidades (PCR)**

El Programa de Comunicaciones y Responsabilidades (PCR), incluye aspectos de comunicación, seguimiento de reclamos, etc., y responsabilidades de la obra. (Toto, 2018)

El PCR contiene los procedimientos necesarios sobre las responsabilidades y las comunicaciones en la construcción.

- Definir la estructura organizativa en comunicación
- Garantizar la comunicación entra la empresa y la población
- Definir las responsabilidades ambientales

Este ítem incluye aspectos de comunicación con los grupos sociales directa o indirectamente involucrados con el proyecto.

Los objetivos son:

- Implementar un canal de comunicación y coordinación abierto, permanente y de doble sentido, para mantener oportuna y adecuadamente informada a la comunidad en relación con la planificación y cronograma de las actividades de construcción.
- Evitar la afectación de la infraestructura social y económica y/o reponer adecuadamente aquella infraestructura que se vea afectada.

Este componente está concebido para ser aplicado en los tres momentos necesarios de comunicación con la comunidad como son el antes, durante y después.

En el caso de afectaciones que no puedan ser previstas, o de eventualidades que causen algún impacto a la infraestructura existente, la recolección y seguimiento de reclamos de las comunidades se constituirá en una actividad de mucha importancia.

### **10.8.5 Plan de Contingencias Ambientales (PCO)**

El PCO se aplicará en cada situación que sea catalogada como de contingencia y/o emergencia ambiental e implica la preparación de procedimientos de emergencia que puedan ser activados rápidamente ante eventos inesperados. El PCO brindará máxima seguridad al personal de operaciones y a los pobladores del área de influencia (Toto, 2018).

Este programa, además de cumplir con las reglamentaciones vigentes, implementa y sistematiza medidas de prevención, protección y mitigación para cada una de las actividades realizadas. El PCO contiene evaluaciones rápidas y respuestas inmediatas para toda situación de emergencia generada por accidentes graves que pueden producirse durante los procesos de construcción del proyecto, con el propósito de prevenir impactos a la salud humana, proteger la propiedad en el área de influencia y el medio ambiente (Toto, 2018).

A continuación, se presentan los lineamientos generales del programa que regirán durante el desarrollo del proyecto, en lo que concierne a los aspectos relacionados a las distintas situaciones de emergencia que pudieran presentarse (Toto, 2018).

Los objetivos del PCO son:

- Cumplir con las leyes nacionales, provinciales y municipales, e implementar las mejores prácticas en todas las actividades del proyecto.
- Establecer un procedimiento para los contratistas y trabajadores del proyecto para la prevención, limpieza y reporte de escapes de productos que puedan ocasionar daños al ambiente.

- Proporcionar una guía para la movilización del personal y de los recursos necesarios para hacer frente a la emergencia hasta lograr su control.
- Controlar y verificar que los riesgos operativos no excedan a los riesgos normales de construcción y operación.

El PCO contiene los procedimientos que deben ser implementados por el personal del proyecto en caso de una emergencia (terremoto, inundación, explosión, derrames, incendios o algún hecho relacionado con errores humanos) (Toto, 2018).

Estos procedimientos serán empleados por todo el personal del proyecto en el caso de que se produzca alguna situación de emergencia, lo cual facilitará la rapidez y efectividad para salvaguardar vidas humanas y recursos ambientales, en o cerca de cualquier instalación del proyecto.

Las emergencias que se puedan manejar con un adecuado plan de contingencias se basarán en las siguientes acciones:

- Identificar y reconocer riesgos en salud, seguridad y medio ambiente.
- Planificar e implementar acciones en el control y manejo de riesgos.
- Revisar y comprobar la preparación y eficiencia del personal regularmente a través de simulacros y ejercicios.
- Entrenar a todo el personal en lo referente a respuestas a emergencias.
- Disponer de copias completas de los planes de contingencia en los centros de operaciones apropiados, y el personal clave recibirá entrenamiento para implementar las medidas de contingencia.

Las consecuencias potenciales directas que pueden ser generadas por las causas mencionadas serán registradas en un acta de accidente ambiental (Toto, 2018).

La planificación para actuar en caso de emergencias y la correspondiente preparación previa es esencial para asegurar que, en caso de un accidente, todas las acciones necesarias sean

tomadas para la protección del público, del personal de la empresa, del ambiente y de los activos. Todo evento ambiental se registrará en un Acta de Accidente Ambiental. Todos los empleados serán instruidos en el sitio sobre los procedimientos de reporte y respuesta ante casos de emergencias (Toto, 2018).

Con la finalidad de brindar al PGA un marco de seguridad ante eventuales contingencias que pudieran afectar directa o indirectamente al ambiente, se deberán aplicar las medidas de protección ambiental que a continuación se detallan. Las mismas pretenden ser lineamientos generales para la aplicación de los procedimientos que colaborarán con la prevención y corrección de los efectos de las contingencias más probables (Toto, 2018).

- Es obligatorio que todos los equipos sean inspeccionados para detectar posibles fugas/derrames y repararlas, antes de ingresar a la obra.
- Los tanques limpios, latas de gasolina y solventes deberán ser almacenados en contenedores secundarios y a prueba de derrames.
- En los puntos de transferencia de material se encontrarán disponibles materiales absorbentes y otros materiales para la limpieza de derrames. El personal estará entrenado en su uso y disposición adecuados.
- Se deberá cumplir estrictamente con los procedimientos de seguridad, tales como los de puesta a tierra y no fumar en las cercanías de materiales inflamables combustibles.
- Los conductores de los vehículos serán entrenados en el uso de los materiales de respuesta ante derrames, antes de transportar materiales peligrosos.
- La empresa poseerá un sistema de comunicación inmediato con los distintos organismos de control y emergencia, a los efectos de obtener una rápida respuesta en el caso que una contingencia supere las medidas del presente plan.
- Se prohibirá encender fuego, salvo en las áreas designadas a tal efecto.
- Se capacitará al personal para hacer frente ante cualquier contingencia ambiental, proteger el ambiente y minimizar los impactos derivados de las actividades propias de la compañía.

- Se activará el procedimiento correspondiente a cada contingencia específica de producirse la misma.
- Cuando ocurran eventos considerados riesgosos para el medio ambiente, se elaborarán las correspondientes actas.
- Para la comunicación del accidente ambiental, se empleará el diagrama de comunicaciones, el cual será completado con los números telefónicos correspondientes y los nombres de cada responsable de área.

### **10.8.6 Plan de Auditorías Ambientales (PAA)**

El PAA se aplicará para realizar la verificación sistemática y periódica del grado de cumplimiento de todo lo establecido en el PPA.

El objetivo básico del Plan de Auditoría Ambiental (PAA) comprenderá la estructuración y organización del proceso de verificación sistemático, periódico y documentado del grado de cumplimiento de lo establecido en los distintos programas del PGA (Toto, 2018).

Las auditorías, además, representarán un mecanismo para comunicar los resultados al responsable del proyecto y para corregir y/o adecuar los desvíos o no conformidades detectadas a los documentos, prácticas y/o estándares estipulados. (Toto, 2018)

Por otra parte, el programa de auditoría ambiental servirá como soporte para medir el grado de optimización que las subcontratistas y/o supervisores utilizan para cumplir con los requerimientos (Toto, 2018).

El método para realizar las inspecciones y auditorías, estará basado en la observación, el trabajo práctico y las condiciones de la obra, además de situaciones que causan o contribuyen con accidentes o pérdidas.

Las auditorías ambientales serán realizadas por un auditor individual o por un equipo de auditores habilitados. Para asegurar la objetividad del proceso de auditoría, de sus hallazgos y conclusiones; los miembros del equipo de auditoría serán independientes de las actividades que auditan y del titular del emprendimiento (Toto, 2018).

Las tareas de auditoría ambiental se realizarán desde el inicio de obra y hasta que el emprendimiento se encuentre en régimen de operación regular; y las mismas serán definidas en un Plan General de Auditorías Ambientales, donde se especificarán las fechas posibles de realización:

Las inspecciones serán una herramienta utilizada para evaluar los puntos acordados y la efectividad de los Programas del Plan de Gestión Ambiental.

### **Auditorías**

De las mismas se elaborarán los informes de auditoría ambiental pertinentes. En esta auditoría se evaluarán internamente todos los aspectos del programa de gestión ambiental y de los documentos complementarios. Cada proceso de auditoría estará conformado, como mínimo, por los componentes que se detallan a continuación:

- Programa de auditoría.
- Objetivos y alcances específicos.
- Listas de control.
- Identificación de desvíos.
- Comunicación.
- Informes parciales de auditorías: para la etapa de construcción el equipo auditor producirá informes parciales y un informe bimensual o trimestral como máximo.
- Informe final de auditoría.



En la auditoría ambiental se reunirá, analizará, interpretará y registrará la información para usarla como evidencia, destinada a determinar si se cumple o no con los criterios de auditoría (Toto, 2018)

Cualquier evidencia significativa observada a través de la inspección será reportada con la brevedad del caso a las personas involucradas para efectuar los correctivos a que haya lugar, mediante No Conformidades. En el transcurso del tiempo, los reportes (informes) de inspección podrán usarse para detectar tendencias o desviaciones en los procesos de seguridad y serán la herramienta de verificación para asegurar que los correctivos han sido aplicados. Estos resultados también deben utilizarse para la reformulación de los programas como actualizaciones y lecciones aprendidas (Toto, 2018).

## **10.9 Conclusión**

A partir de lo elaborado, se puede concluir que el proyecto es ambiental y socioeconómicamente viable. Los impactos negativos observados no son de gran magnitud comparando con la línea de base ambiental de la zona, lo cual está relacionado con la gran urbanización de la misma. Así todo, es necesario que estén bien claros los impactos ambientales negativos que conlleva esta obra y considerar constantemente lo que está expuesto en el Plan de Gestión Ambiental.

Como conclusión, se destaca que el proyecto puede ser llevado adelante de manera consciente ya que los impactos ambientales negativos que el proyecto causa pueden ser minimizados hasta niveles aceptables.

# 11. Conclusión final

## 11.1 Conclusiones del proyecto

Partiendo de la base de que se observó una planta de tratamientos muy antigua, sin mucha capacidad de tratar los efluentes y soportar cualquier tipo de sobresalto, se propusieron dos alternativas de tratamiento más modernas capaces de garantizar el tratamiento correcto del efluente.

Se hizo especial énfasis en el tratamiento de los metales pesados generados en el proceso de galvanoplastía, para luego tratarlos con los cloacales. La remoción de estos metales será con un tratamiento en serie de coagulación, floculación y sedimentación primaria, que aporta una mayor capacidad de soportar las fluctuaciones de producción. La carga biológica, será removida con el tanque SBR, que también es capaz de soportar sobresaltos, además de ocupar una pequeña superficie.

Con respecto a lo económico, gracias al financiamiento que proveen las distintas entidades, será posible la implantación y mantenimiento de la nueva planta. La propuesta finalmente seleccionada, además de cumplir con la calidad de vuelco, tiene un costo de inversión accesible a la empresa, a diferencia del equipo de osmosis inversa, que necesita de mayor inversión y mucho tiempo de amortización.

No es una obra que afecte negativamente a la empresa y a la zona de influencia, tanto en lo ambiental como en lo socioeconómico, sino que, por el contrario, mejora considerablemente el impacto de la empresa en todo sentido.

En conclusión, el presente proyecto es viable, económica, social y ambientalmente.

## 11.2 Conclusiones personales

Este Proyecto Final Integrador significó para mí un gran desafío personal ya que me hizo tener una real idea de lo que es llevar a cabo un proyecto de inicio a fin. Tener que estudiar la situación a la que uno se enfrenta, y en base a eso comenzar a diseñar distintas alternativas para luego evaluarlas con distintos criterios, fue para mí una experiencia que me va a quedar para toda la vida.

Por si esto no fuera poco, tuve que realizar el Proyecto en plena pandemia. Esto me hizo tener que encarar los problemas de una manera distinta a lo tradicional, ya que no era posible realizar ensayos de laboratorio o acercarme a cualquier profesor en la facultad. Tuve que buscar mucho más en la bibliografía, y tener criterio de si eso que yo encontraba realmente aplicaba a mi caso de estudio o no.

Este proyecto me tomó varios meses de dedicación y estudio, pero estoy completamente seguro de que lo voy a recordar para toda la vida.

## 12. Bibliografía

- Abuin, G., Alanis, I., Mahmud, Z., Valentini, C., & Fernández, J. (s.f.). *Cuadernillo rubro: Galvanoplastias*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- Acquatron. (s.f.). Manual de Instalación y Mantenimiento. Serie F1-MA & F2-MA. Argentina.
- Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (2018). *Manual de plantas depuradoras. Vol. 1: caracterización de efluentes: ensayos físicos y químicos. - 1a ed. -*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Lazos de agua.
- Aguas industriales. (5 de Octubre de 2015). *Ventajas y desventajas de los reactores biológicos secuenciales (SBR)*. Obtenido de <http://aguasindustriales.es/ventajas-y-desventajas-de-los-reactores-biologicos-secuenciales-sbr/>
- Alibaba. (2021). Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/500lph-industry-well-drinking-water-filtrating-treatment-machine-reverse-osmosis-water-ro-machine-60706748518.html?spm=a2700.details.maylikeexp.9.5ace7601QWKu4h>
- Autoridad de Cuenca Matanza - Riachuelo. (2015). *Parque Industrial curtidor Lanús - Planta de tratamiento de efluentes líquidos*. Buenos Aires.
- Becker, A. N. (2018). *Tratamiento de efluentes líquidos industriales para una industria gráfica con sistema de impresión offset*. Buenos Aires: Universidad Nacional de San Martín.
- Breschi, A. (2011). *Propuesta de alternativas de mejora al tratamiento actual de los efluentes generados en el área de galvanoplastia para la empresa Bermúdez Industria Electrometalúrgica C.A.* Valencia: Universidad de Carabobo.

- Breschi, A. (2011). *Propuesta de alternativas de mejora al tratamiento actual de los efluentes generados en el área de galvanoplastia para la empresa Bermúdez Industria Electrometalúrgica C.A.* Valencia: Universidad de Carabobo.
- Cabrera Bermúdez, X., Fleites Ramírez, M., & Contreras Moya, A. (2009). *Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "Desembarco del Granma" a escala de laboratorio.* Santiago de Cuba: Universidad de Oriente.
- Canales Canales, C. (2009). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas.* España.
- Canales, C. C. (2009). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Tratamiento de Superficies Metálicas y Plásticas.* España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Carballo, J. (2018). *Diseño de sistema de planta de tratamiento de efluentes industriales y soluciones sustentables integrales para una industria vitivinícola.* Buenos Aires.
- Carbotecnia. (26 de Marzo de 2021). Obtenido de ¿Qué es la ósmosis inversa?: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>
- Confluencia A&S. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental: Parque Eólico Ameghino.* Chubut.
- Consejo Federal de Inversiones. (s.f.). *Consejo Federal de Inversiones.* Obtenido de Financiamiento: <https://www.cfi.org.ar/lineas-de-trabajo/financiamiento>
- D'Ambrosio, M. C. (2005). *Evaluación y selección de tecnologías disponibles para remoción de arsénico.* Río Cuarto.

- Farrás Gento, Q. (2017). *Diseño de un reactor biológico secuenciado ( $Q A.R.=9000 m^3/d$ ) para reducir la producción de fangos mediante la aplicación de un desacoplador metabólico*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Galvis, L. C., & Montealegre Murcia, L. (2003). *Diseño de un sistema de neutralización de aguas residuales industriales en el proceso de galvanizado*. Bogotá: Universidad de La Sabana.
- Greeley and Hansen. (2017). *Estudio de Impacto Ambiental para la planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho*. Cuenca.
- GV Soluciones. (s.f.). *Equipo decantador flotante para reactores SBR*. Obtenido de <http://gvsoluciones.com/productos/decantadorflotanteSBR.pdf>
- Hierros Torrent S.A. (s.f.). *Metal Desplegado*. Obtenido de <https://www.hierrostorrent.com.ar/metal-desplegado/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Klug, L. (2018). *Diseño de planta de tratamiento de efluentes para una industria productora de conservas en el partido de San Miguel*. Buenos Aires: Universidad Nacional de San Martín.
- Lódola, A., & Brigo, R. (2011). *Diagnóstico Socioeconómico de La Plata y sus Centros Comunes*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- metales, A. A. (2017). *Sector de tratamientos superficiales*. Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable - Presidencia de la Nación.
- Metcalf & Eddy INC. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.

- Metropolitana, C. N.-R. (2000). *Guía para el control y prevención de la contaminación Industrial - Galvanoplastia*. Santiago de Chile.
- Moreno Benavides, J. A. (2011). *Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia LTDA*. Santiago de Chile: Universidad Autónoma de Occidente.
- OJA Solutions. (s.f.). *Manual de ósmosis inversa industrial*.
- Persino, F. (s.f.). *Electrocoagulación para el tratamiento de efluentes*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- Repicky. (2011). *Repicky*. Obtenido de Difusores de membrana de burbuja fina: <https://www.repicky.com.ar/difusores-de-membrana-de-burbuja-fina.html>
- Reyes, J. A. (s.f.). *Eficiencia de una membrana de polipropileno modificada con quitosano en la remoción de iones metálicos*. Universidad Autónoma del Estado de México, México DF.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Sogamoso - Boyacá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Rodriguez, R. A. (s.f.). *Procesos Industriales: MODULO III. Procesos fisicoquímicos: Coagulación. Floculación. Desinfección*. UNSAM.
- Sandri, L. (2021). *Diseño de una planta de tratamiento de efluentes lixiviados provenientes del relleno sanitario del partido de Necochea, Provincia de Buenos Aires*.
- Schiappacasse, E. A. (2006). *Planta de tratamiento de aguas residuales*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación.

SHUEIZ SOLUTIONS. (s.f.). *Shueiz Water Solutions*. Obtenido de Tamices estáticos:

<http://www.shueiz.com/detalle.php?a=tamiz-estatico-autolimpiante&t=25&d=15>

Suárez López, J., Jácome Burgos, A., & Ures Rodríguez, P. (2015). *Reactores con funcionamiento secuencial (FT-BIO-002)*. La Coruña: Universidad de La Coruña.

Toto, M. (2018). *Evaluación de Impacto Ambiental - Proyecto vial: Conexión Parque Eólico y Emprendimiento Hotelero con la ciudad de Puerto Madryn*. Buenos Aires.

Universidad Nacional del Nordeste. (s.f.). *Hipertextos del Área de la Biología*. Obtenido de [http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/planta\\_de\\_tratamiento\\_epl.htm](http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/planta_de_tratamiento_epl.htm)