



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Proyecto Final Integrador

Diseño de una planta de tratamiento
de efluentes líquidos para una industria
de productos del cuidado del hogar

Agustina Abril

Tutor : Lucas Martin Guz

Legajo : CYT-8017

Agradecimientos

A mis padres y hermano, por ser mi guía y alentarme a seguir adelante sin importar las dificultades.

A Ignacio, mi compañero de vida, que siempre supo apoyarme de manera incondicional en estos años de carrera universitaria.

A Melina, Lara y Olivia. Mis compañeras desde el día uno con las que tengo el placer de crecer en el ámbito profesional y personal.

A mis compañeros y amigos que encontré en la UNSAM, que fue una segunda casa. Por cada mate y tardes de estudio. De acá me llevo amigos para toda la vida.

A mis amigas de la infancia y todas aquellas amistades que transitaron conmigo este camino, escuchándome e impulsándome a crecer día a día.

A la universidad pública que me brindó educación de calidad y me permitió convertirme en la profesional que soy hoy.

A Dios por guiarme hacia mi verdadera vocación, encontrándote en cada rincón de la naturaleza.

Resumen Ejecutivo

El proyecto consiste en el desarrollo del diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria de productos del cuidado del hogar. Dicho efluente es generado principalmente por lavados de tanques y cañerías provenientes de la producción. El efluente presenta variaciones de parámetros como pH, compuestos orgánicos, sólidos suspendidos y detergentes. Estos efluentes deben ser depurados para su liberación a un cuerpo de agua, dado que en las condiciones que se encuentra en su generación causaría un impacto negativo en el ambiente. Para el diseño de la planta de tratamiento de efluentes se toman en cuenta fundamentos teóricos y técnicos propios del tratamiento de efluentes industriales y de la caracterización del efluente. Tanto la caracterización del efluente como los caudales del industrial y cloacal fueron provistos por una empresa. Con el fin de preservar la confidencialidad de la misma se elabora el proyecto en base a estos parámetros planteando una nueva planta industrial de productos para el cuidado del hogar. La planta se encuentra situada en el parque industrial de Pilar, cuenta con una generación de efluente industrial de 141,64 m³/d . Además, para el diseño se contempla el efluente cloacal generado por la empresa de 74,78 m³/d.

En primer lugar, se establece el diagnóstico de la situación, el proceso productivo con su descripción por producto elaborado, la caracterización de residuos sólidos, efluente gaseoso, efluente líquido y la normativa de vuelco. Con dichos conocimientos, se plantean dos alternativas para el tratamiento de efluentes líquidos. Se presentan las alternativas de tratamiento junto con su memoria descriptiva y de cálculo. Por un lado la alternativa 1 es considerada como un tren de tratamiento tradicional, mientras que la segunda es más innovadora. Luego, a partir de un análisis que contempla la efectividad del tratamiento en cuanto a sus parámetros de vuelco, superficie a utilizar y costos se decide que la alternativa a seleccionar es la segunda.

El sistema de tratamiento seleccionado incluye varias etapas: un pretratamiento con rejas manuales y equalización, seguido de un tratamiento primario que implica coagulación-floculación, sedimentación primaria y un reactor de oxidación avanzada tipo Fenton. Esto se combina con un tratamiento biológico de membrana (MBR), seguido por un tratamiento terciario que comprende un laberinto de cloración. Además, se realiza una propuesta para el tratamiento de lodos.

Por último, para esta alternativa se confeccionan los planos de las unidades para cada etapa del tratamiento y el Estudio de Impacto Ambiental.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen Ejecutivo	3
Índice	4
1. Introducción	10
1.1. Introducción a la problemática ambiental	10
1.2. Justificación del proyecto	11
1.3. Objetivo	12
2. Marco teórico	12
2.1. Diagnóstico de la situación actual	12
2.2. Ubicación del predio	13
2.3. Descripción del proceso productivo	15
2.3.1. Elaboración de detergentes	18
2.3.2. Elaboración de líquidos de limpieza : antigrasa, vidrios y baños	19
2.3.2.1. Elaboración de líquidos de limpieza antigrasa	19
2.3.2.2. Elaboración de líquidos de limpieza vidrios.	20
2.3.2.3. Elaboración de líquidos de limpieza baños.	20
2.3.2.4. Elaboración de líquido en crema de limpieza para superficies múltiples.	20
2.3.3. Elaboración de jabones líquidos para lavar la ropa	21
2.3.4. Elaboración de suavizantes líquidos para ropa	21
2.4. Residuos Sólidos	22
2.4.1. Residuos Sólidos asimilables a urbanos	22
2.4.2. Residuos especiales	23
2.5. Efluente gaseoso	23
2.6. Descripción y caracterización del efluente líquido	23
2.7. Efluente cloacal	26
3. Marco normativo	27
4. Alternativas y Memoria Descriptiva	28
Descripción de los procesos de tratamiento	28
4.1. Pretratamiento	31
4.1.1. Sistema de rejas	31
4.1.2. Ecuación	32
4.2. Tratamiento primario	33
4.2.1. Coagulación - Flocculación	33
4.2.2. Sedimentación	37
4.2.3. Proceso de oxidación avanzada (Alternativa 2)	39
4.2.3.1. Fenton	40
4.3. Tratamiento secundario	43
4.3.1. Lodos activos (Alternativa 1)	45

4.3.2. MBR (Alternativa 2)	46
4.4. Tratamiento terciario	48
4.4.1. Laberinto de cloración	49
4.5. Tratamiento de lodos	49
4.6. Cámara de toma de muestra y medición de caudal	51
4.7. Memoria descriptiva	51
Descripción de alternativas de tratamiento	52
5. Memoria de cálculo del diseño de la planta de tratamiento de efluentes	58
5.1. Pretratamiento	58
5.1.1. Sistema de rejas	58
5.1.2. Tanque Ecuilizador N 1	64
5.2. Tratamiento Primario	68
5.2.1. Coagulación Floculación	68
5.2.2. Sedimentador Primario	72
5.3. Tratamiento secundario: Lodos Activos (Alternativa 1)	78
5.3.1. Lodos Activos	78
5.3.2. Sedimentador secundario	87
5.4. Tratamiento Primario: Fenton (Alternativa 2)	91
5.4.1. Fenton	91
5.5. Tratamiento Secundario: MBR (Alternativa 2)	93
5.5.1. Tanque Ecuilizador N 2	93
5.5.2. MBR	93
5.5.3. Operación del sistema de membranas	95
5.5.4. Tanque de mezcla y sistema de aireación	96
5.6. Tratamiento terciario	98
5.6.1. Laberinto de cloración.	98
5.7. Tratamiento de Lodos	101
5.8. Sistema de conducción	105
5.8.1. Conducción a gravedad y a presión	108
5.8.2. Nivelación de las unidades de la planta de tratamiento	114
6. Cómputo y presupuesto	115
6.1. Inversión inicial	115
6.2. Operación y mantenimiento	124
6.2.1. Insumos químicos	125
6.2.2. Servicio de energía eléctrica	125
6.2.3. Mano de obra	127
6.2.4. Gestión de lodos	128
6.2.5. Mantenimiento preventivo y correctivo e imprevistos.	128
6.3. Costo mensual total de operación y mantenimiento	128
6.4. Costo total	132
7. Selección de alternativa	134
8. Estudio de impacto ambiental	137
8.1. Objetivos y alcance	137

8.2. Metodología	138
8.2.1. Marco teórico	138
8.2.2. Planificación, logística y elaboración de la caracterización ambiental del área de influencia (Línea de Base Ambiental).	138
8.2.3. Elaboración de la matriz de aspectos e impactos ambientales	138
8.2.4. Elaboración del plan de gestión ambiental	139
8.2.5. Cierre	139
8.3. Marco Legal	139
8.4. Descripción técnica del proyecto	139
8.4.1. Etapa de construcción	139
8.4.1.1. Emisiones, efluentes y residuos generados	141
8.4.2. Etapa de operación	142
8.4.2.1. Emisiones, efluentes y residuos generados	143
8.4.3. Etapa de cierre	144
8.4.3.1. Emisiones, efluentes y residuos generados	145
8.5. Alcance del estudio	145
8.6. Caracterización ambiental del área de influencia (Línea de Base ambiental)	146
8.6.1. Línea de base físico química	147
8.6.1.1. Meteorología	147
8.6.1.1.1. Clima	147
8.6.1.1.2. Temperatura	149
8.6.1.1.3. Precipitaciones	149
8.6.1.1.4. Presión atmosférica	149
8.6.1.1.5. Humedad relativa	149
8.6.1.1.6. Viento	150
8.6.1.2. Calidad de aire	151
8.6.1.3. Medición de ruido	152
8.6.1.4. Geología	153
8.6.1.5. Geomorfología	154
8.6.1.6. Edafología	154
8.6.1.7. Perfil del suelo	155
8.6.1.8. Hidrología	157
8.6.2. Línea de base biológica	160
8.6.2.1. Marco regional	160
8.6.2.2. Flora	161
8.6.2.3. Fauna	161
8.6.2.4. Áreas Protegidas	162
8.6.3. Línea de base socio económica	163
8.6.3.1. Población	163
8.6.3.2. Infraestructura y servicios	165
8.6.3.3. Ordenamiento territorial	166
8.6.3.4. Valores culturales	168
8.7. Identificación y evaluación de impactos ambientales	169

8.7.1. Metodología	169
8.7.2. Identificación de acciones y factores	172
8.7.3. Identificación de los impactos	174
8.7.4. Evaluación de los impactos ambientales	176
8.8. Análisis de riesgo	177
8.8.1. Metodología	177
8.8.2. Valoración de los riesgos	178
8.9. Medidas de mitigación	180
8.10. Plan de contingencias	184
8.10.1. Inundación	184
8.10.2. Infiltración o derrame de sustancia química	185
8.10.3. Vuelco de efluente en mal estado	185
8.10.4. Incendio	186
8.10.5. Accidente laboral	187
8.11. Plan de gestión ambiental	187
8.11.1. Capacitación en materia ambiental	187
8.11.2. Gestión de residuos	187
8.12. Viabilidad ambiental del proyecto	188
9. Planos	189
10. Conclusión	189
10.1. Conclusiones del proyecto	189
10.2. Conclusiones personales	190
Bibliografía	191
Anexos	194
Anexo I	194
Anexo II	197
Anexo III - Pretratamiento	199
Anexo IV - Tratamiento Primario	202
Anexo V - Tratamiento Secundario	204
Anexo VI - Tratamiento Terciario	207
Anexo VII - Tratamiento de lodos	208
Anexo VIII - Sistema de conducción	210
Anexo IX - Estudio de Impacto Ambiental	215
Anexo X - Planos	216

1. Introducción

1.1. Introducción a la problemática ambiental

Los productos del cuidado del hogar son aquellos artículos empleados por los humanos para satisfacer necesidades de limpieza, higiene y mantenimiento de los artículos y superficies que se encuentran en un hogar. Dentro de ellos encontramos una gran variedad de productos como los detergentes de vajilla, jabones líquidos para lavar la ropa, suavizantes, limpiadores en crema y de diversas superficies como baños y vidrios, entre otros. Estos productos tienen como base tensioactivos aniónicos en conjunto con agua y fragancias. En cuanto a sus inicios, tanto los detergentes de vajilla como los jabones líquidos para la ropa derivaron del jabón. Fue en el siglo XIX donde se descubrieron propiedades jabonosas en sustancias no grasas a fin de reemplazar el jabón. Luego, en el transcurso de la primera guerra mundial en Alemania se creó el primer detergente sintético, sin embargo, la masiva comercialización comenzó en los años 1921-1945. En cuanto a los jabones para lavar la ropa, fueron diseñados con la invención del lavarropas en el 1910 aunque hasta el 1950 no se convirtió en un artículo de masas. Hoy en día, el 90% de los hogares en Argentina consumen artículos del cuidado del hogar, esta industria continúa creciendo y modificando sus fórmulas. Dentro de las innovaciones más recientes se encuentran los productos líquidos concentrados, que buscan obtener un menor impacto ambiental en todos sus aspectos desde el diseño, formulación y producción hasta el consumo y posconsumo. (Celdrán, 1995)

La industria de los artículos del cuidado del hogar genera residuos líquidos como lo son los efluentes industriales. La principal causa de dichos efluentes son los lavados de tanques y cañerías dentro de la industria ya que las mismas suelen fabricar diversas variedades de un mismo producto. La producción de distintos lotes genera entre ellos: lavados, sanitizados y desinfección de los equipos. Las principales diferencias entre los lotes suelen estar dadas por la tecnología, fragancia y color. Los efluentes generados contienen altas concentraciones de carga orgánica, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Además, debido a las características de la producción estos efluentes cuentan con la presencia de sólidos suspendidos, tensioactivos y colorantes. Debido a estos contaminantes que posee el efluente y que son nocivos para

el medio ambiente, es que los efluentes deben ser tratados correspondientemente por medio de una Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL) antes de ser volcados a cualquier cuerpo de agua receptor.

La principal problemática de un vuelco de efluentes no tratados radica en la incapacidad de los cuerpos receptores de neutralizar las cargas de contaminantes por sí mismos. De esta manera se producen consecuencias indeseadas en el medio ambiente. Cada contaminante mencionado anteriormente traerá aparejado distintas consecuencias en el cuerpo de agua dentro de las principales, un aumento de la materia orgánica biodegradable provoca una disminución del oxígeno disuelto dado que este es necesario para su proceso de oxidación. Como resultado, se produce una reducción del oxígeno disponible para las especies que habitan en este ecosistema. Por otro lado, los tensioactivos en medios acuáticos pueden traer la presencia de espumas, contaminación de acuíferos, inhibición en el crecimiento de algas y tóxicos para la flora y fauna. El vuelco de concentraciones elevadas de nutrientes también pueden llevar a desequilibrios en los cuerpos de agua tales como la eutrofización, hipoxia, floraciones algales nocivas, generación de olores y otros efectos a la salud. (Ríos, 2016)

1.2. Justificación del proyecto

Este proyecto se centra en el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria productora de artículos del cuidado del hogar, ubicada en el parque Industrial Pilar, Buenos Aires, Argentina.

Como en cualquier proceso productivo, para producir se requieren de materias primas, energía y mano de obra y se genera el producto deseado en conjunto con emisiones gaseosas, sólidas y líquidas como resultado del desecho de este proceso. Este proyecto se enfoca en el diseño de la respectiva planta de tratamiento de efluentes líquidos teniendo en cuenta el efluente industrial y cloacal. El efluente líquido industrial es generado a partir del lavado de equipos, tanques, tuberías y superficies del proceso productivo, mientras que el efluente cloacal proviene del lavado o uso de agua para cocina, baños y duchas. El efluente presenta concentraciones elevadas de parámetros como carga orgánica, DQO, DBO, sólidos en suspensión, detergentes (S.A.A.M), grasas y aceites (S.S.E.E), nitrógeno, fósforo, entre otros.

1.3. Objetivo

El presente proyecto tiene como fin el diseño de una planta de tratamiento de efluentes generados en una industria de productos del cuidado del hogar. Contemplando la caracterización del efluente con el objetivo de disminuir los valores de los parámetros, logrando que la calidad del efluente tratado se encuentre con concentraciones menores a las solicitadas por legislación para cuerpo de agua superficial donde se realizará el vuelco. Para ello la planta de tratamiento de efluentes debe lograr disminuir principalmente los valores de carga orgánica y nutrientes. Estos valores deberán estar por debajo de los niveles máximos establecidos por la normativa para vuelco en un cuerpo de agua superficial. Para así, poder preservar el medio ambiente, la vida acuática y la salud humana. Para ello se plantean a continuación dos alternativas de diseño y se seleccionara la que mejor se adecue a los factores mencionados anteriormente.

2. Marco teórico

2.1. Diagnóstico de la situación actual

La empresa se dedica a la producción de artículos para el cuidado del hogar y se encuentra ubicada en el parque industrial Pilar, Buenos Aires, Argentina. La misma tiene una producción anual de 354.396 toneladas y cuenta con 500 empleados. En el proyecto se emplean datos provistos por una empresa como lo son las toneladas de producción mensual, generación de efluente industrial y cloacal, caracterización del efluente, cantidad de empleados, jornada laboral, generación de residuos sólidos, entre otros. Para preservar la identidad de la empresa se decide emplazar una nueva industria con dichos datos en una ubicación alternativa y se diseña una nueva planta de tratamiento para dicho emplazamiento.

Los productos del cuidado del hogar son aquellos artículos diseñados para satisfacer las necesidades de limpieza, higiene y mantenimiento dentro de un hogar. Estos productos están destinados a facilitar y mejorar las tareas domésticas, así como a garantizar un entorno limpio y saludable para los habitantes del hogar. Algunos ejemplos comunes de productos del cuidado del hogar incluyen detergentes de vajilla, jabones para la ropa,

jabones y limpiadores para superficies, suavizantes para la ropa, desinfectantes, ambientadores, entre otros. Estos productos suelen estar disponibles en diversas formas, tamaños y fragancias para adaptarse a las preferencias y necesidades de los consumidores. Los principales componentes de estos productos son: tensioactivos, colorantes, disolventes, perfumes y fragancias, desinfectantes, agentes blanqueadores, colorantes, suavizantes, entre otros.

Como se mencionó anteriormente podemos encontrar una gran variedad de artículos para el cuidado del hogar. Esta industria principalmente se dedica a la producción de : detergentes de vajilla en gel y cremosos ; liquido antigrasa; liquido limpia vidrios; liquido limpia baño; jabones líquidos para lavar la ropa envasados en distintos tamaños y fragancias en sus versiones tradicional y concentrada (también conocida como "para diluir"), y suavizantes para la ropa.

En esta industria se genera un caudal promedio de 216,42 m³/d de efluente a tratar, teniendo en cuenta el efluente industrial (141,64 m³/d) y cloacal (74,78 m³/d). El efluente líquido industrial es generado a partir del lavado de equipos, tanques, tuberías y superficies del proceso productivo, mientras que el efluente cloacal proviene del lavado o uso de agua para cocina, baños y duchas. Dichos caudales son provistos por una empresa que fabrica productos para el cuidado del hogar, por confidencialidad de datos se preserva el nombre de la empresa y su ubicación.

2.2. Ubicación del predio

El parque industrial Pilar se encuentra en la localidad de Fátima, Buenos Aires, Argentina. El parque es una zona industrial planificada y alberga una diversidad de industrias con diferentes actividades productivas. Como se menciona anteriormente, en el proyecto se emplean datos obtenidos por una empresa cuya identidad es confidencial. Debido a esto el proyecto se basa en una nueva industria de consumo masivo la cual debe contar con una planta de tratamiento de efluentes industriales. Dichos efluentes vuelcan al colector del parque industrial Pilar el cual no posee tratamiento que desemboca en el Río Luján, esto es debido a que cada industria dentro del parque debe tener su propia planta de tratamiento de efluentes líquidos. El predio cuenta con un total de 18 Ha y se encuentra ubicada en el parque Industrial Pilar, con entrada en la calle Av Doctor Arturo Frondizi y

Calle 12. A continuación en la figura 2.1 se puede observar la vista satelital de la nueva planta productiva junto con su correspondiente planta de tratamiento de efluentes líquidos.



Figura 2.1 : Vista satelital de la planta industrial. En verde el área productiva y en azul el área de PTEL. Fuente: Elaboración propia

La Cuenca del Río Luján, se encuentra al noreste de la provincia de Buenos Aires, con un área de 3401 km². Esta atraviesa quince partidos de la provincia de Buenos Aires: Campana, Carmen de Areco, Chacabuco, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, Jose C. Paz, Luján, Malvinas Argentinas, Mercedes, Moreno, Pilar, San Andrés de Giles, Suipacha y Tigre (Comite de Cuenca de rio Lujan, 2015)

El río Luján es un curso de agua dulce de llanura y, como tal, presenta meandros. Su longitud es de aproximadamente 130 km, sus aguas son lentas y, como consecuencia de su escasa pendiente, que alcanza una media de 0,44 m/km, tiene amplios valles de inundación. El régimen de alimentación del río es pluvial (vía capa freática) y su caudal medio es de 5,4 m³/s. Por otro lado, las aguas subterráneas involucran al acuífero Pampeano y Puelche. En el primero predominan aguas accesibles y de baja salinidad (Sánchez Caro Et. Al.,2014).

Desde el punto de vista geomorfológico la cuenca del Luján pertenece a la Pampa Ondulada (llanura ondulada formada por depósitos del periodo pampeano) estando constituida por sedimentos loésicos. En la cuenca se pueden establecer tres unidades morfológicas: terraza alta en interfluvios, intermedia en áreas de pendiente y baja en zonas aledañas al río. (Guichon,1999).

2.3. Descripción del proceso productivo

La industria se dedica a la creación de diversos productos del cuidado del hogar, cuyos procedimientos de producción son sencillos ya que se basa en diluciones y mezclas, no reacciones químicas. Además, los procesos son similares entre sí. Esto les permite utilizar la misma maquinaria para fabricar varios de estos productos. En la figura 2.2 se representa un esquema general del proceso de producción.

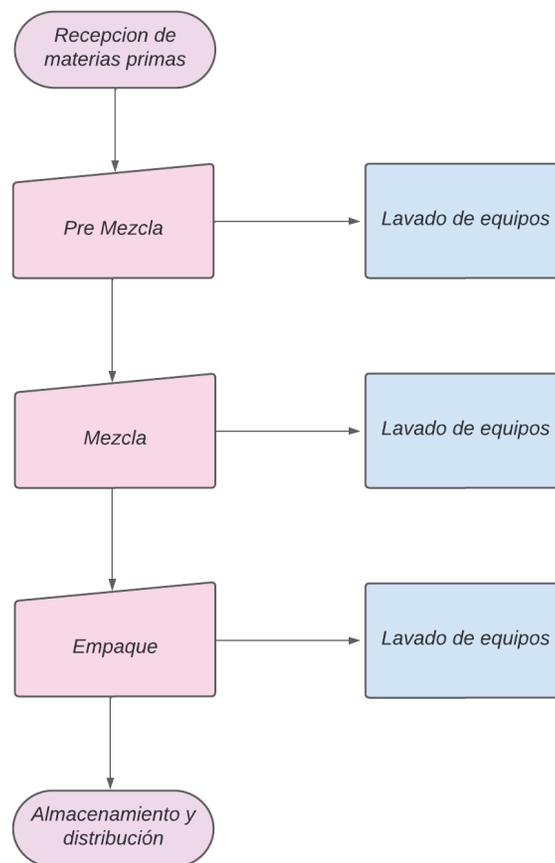


Figura 2.2: Esquema general del proceso productivo en la industria de productos del cuidado del hogar. Fuente: elaboración propia

El proceso de elaboración consta de cinco pasos principales. En primer lugar se encuentra la recepción y preparación de las materias primas. En esta etapa según el producto específico a producir se acopian los materiales con sus respectivas cantidades necesarias. Luego, estas materias primas fraccionadas se llevan hacia el área de elaboración, donde encontramos los pasos de pre mezcla y mezcla. La premezcla se suele fabricar en un reactor más pequeño, a fin de generar una base del producto mientras que los tanques de mezcla se están lavando o fabricando otro producto. En la mezcla los ingredientes sólidos y líquidos se integran y se disuelven en agua caliente para formar la base del producto. Esta mezcla se agita para asegurar una homogeneidad adecuada. Luego se procede a agregar aditivos como fragancias y colorantes o sustancias neutralizadoras de pH, entre otros según el producto a elaborar. Una vez finalizada la etapa de elaboración se procede al empaque. En esta etapa se envasa al semi elaborado líquido en botellas o doypack. Por último, el almacenamiento y distribución comprende la etapa en donde los productos terminados se almacenan en condiciones apropiadas antes de ser distribuidos a los puntos de venta.

En rasgos generales, los procesos de elaboración de los productos generados son similares entre sí. Esto permite que los mismos equipos se utilicen para la producción de cualquiera de estos productos. Se cuenta con 4 tanques: un tanque denominado mixer, un pre mixer, un tanque de colorante y otro de fragancia. En la figura 2.3 se puede observar el proceso productivo genérico. Las principales diferencias entre los productos son las materias primas ingresadas en los tanques mixer y pre mixer. En estos tanques se produce la mezcla de los principios activos de limpieza los cuales están diseñados para satisfacer distintas necesidades.

La producción comienza en el premixer, en donde se ingresa la materia prima y agua, este es un reactor con agitación más pequeño que el mixer o reactor principal. Por otro lado, en el tanque colorante en agitación, se adiciona agua caliente y colorante. El agua caliente se utiliza para la correcta dilución del colorante. Además, en el tanque de fragancia se mezclan los distintos aromas. En paralelo, en el mixer principal se mezclan otras materias primas y agua. A este mixer principal se le incorporan las mezclas realizadas en el pre mixer. Se adicionan fragancias y colorante de la misma manera. Luego se mide el pH y se corrobora que el mismo sea el apropiado para cada producto. Por último se descarga el

contenido del mixer a la línea de empaque. El agua utilizada en el proceso productivo es extraída mediante pozos de extracción, para ello la industria necesita de un permiso de extracción el cual es emitido por la autoridad de agua (ADA). En cuanto a la cantidad de agua utilizada, varía según el producto a elaborar. Para una producción de 354.396 ton/mes se estima por fórmula de producción que 24000 m³ de agua al mes forman parte del producto final. En la tabla 2.1 se enlistan las materias primas que ingresan al pre mixer y al mixer para cada producto elaborado en la fábrica.

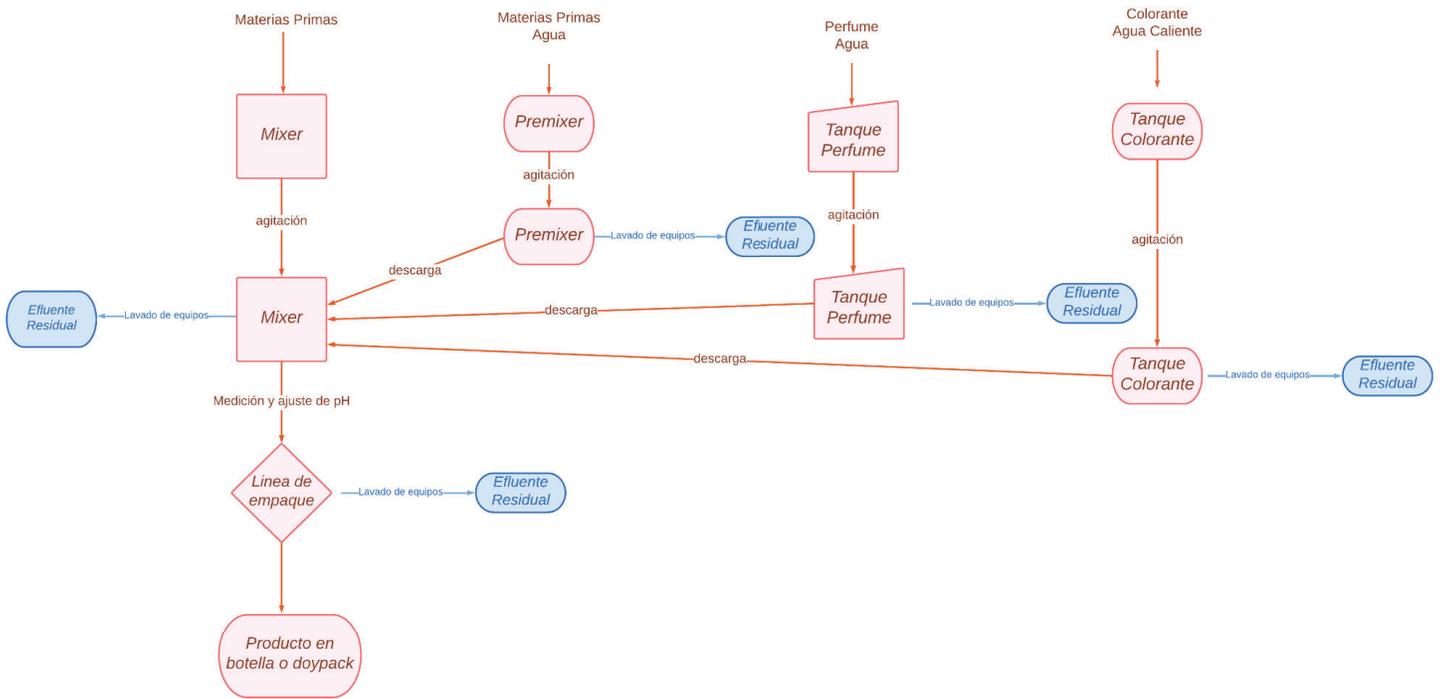


Figura 2.3: Proceso productivo . Fuente: elaboración propia.

Tabla 2.1: Materias primas utilizadas en la elaboración para cada producto. Fuente: elaboración propia.

Producto	Materias Primas Mixer	Materias Primas Pre-mixer
Detergente para vajilla	Cocoamido propil betaína (CAPB) y Lauril éter sulfato sódico (LES)	Alquilbenceno sulfonato lineal (LAS) Soda Cáustica
Líquido de limpieza antigrasa	Alquilbenceno sulfonato lineal (LAS), soda cáustica, alcohol Isopropílico y ácido cítrico	-
Líquido de limpieza vidrios	LESS, soda cáustica, alcohol isopropílico (IPA) y cocoamido propil betaína (CAPB)	-
Líquido de limpieza baños	Alquilbenceno sulfonato lineal (LAS), Alcohol Isopropílico (IPA), ácido cítrico, hipoclorito de sodio	-
Líquido en crema de limpieza de superficies múltiples	alquilbenceno sulfonato lineal (LAS), Lauril éter sulfato de sodio (LESS) y Carbonato de calcio Lauril éter sulfato de sodio (LESS)	-
Jabón líquido para lavar ropa	, Salmuera, Enzima	Soda Caustica
Suavizante líquido para ropa	Cloruro de Trimetil Amonio (CTAB), Cloruro de Dialquil Dimetil Amonio (DADMAC) y Cloruro de Behentrimonio.	Quat , Alcohol Cetoestearílico

2.3.1. Elaboración de detergentes

Los detergentes son elaborados a partir de tensioactivos, coadyuvantes, agentes quelantes, agentes secuestrantes, espesantes, fragancias, colorantes y agua. Los tensioactivos son el ingrediente principal para que el detergente cumpla su función, ayudan a que las grasas y suciedad se disuelvan. Además, la adición de coadyuvantes o cosurfactantes favorecen a la eficiencia de los tensioactivos y ayudan a estabilizar al detergente. Por otro lado, los agentes quelantes ayudan a eliminar los iones de metales presentes en el agua, como lo son el calcio y el magnesio. Los agentes secuestrantes funcionan para mejorar la estabilidad del producto mientras que los espesantes dan viscosidad al detergente para que el mismo pueda adherirse a la superficie de la vajilla. En cuanto a su proceso de elaboración, cabe destacar que el pH debe estar entre 5 y 6. En caso de que necesite un ajuste se realiza adicionando ácido cítrico. Las fragancias y los colorantes aportan un aroma y color al detergente para hacerlo más atractivo y ajustarse a las preferencias del consumidor. Por último, pero no menos importante estos productos contienen agua ya que sin la misma serían muy concentrados para el uso que se desea darle a este producto. La formulación de los detergentes para el lavado manual de vajilla consta de entre un 8 -12% de surfactante aniónico, entre un 1 – 4% de cosurfactante, luego colorantes, fragancia, conservantes, sal y agua hasta 100% (Nitsch et Al, 2003)

2.3.2. Elaboración de líquidos de limpieza : antigrasa, vidrios , baños y en crema.

Esta gama de productos se basan en la limpieza de distintos espacios del hogar sin dañar a las superficies que se encuentran sucias. En los tres procesos se utilizan materias primas específicas que permiten limpiar y desengrasar eficazmente las superficies sin dejar residuos ni manchas. En general los procesos son similares entre sí y las elaboraciones se realizan con 3 tanques, para estos productos no se utiliza un pre mixer.

2.3.2.1. Elaboración de líquidos de limpieza antigrasa

El líquido antigrasa busca disolver las grasas presentes en las superficies del hogar como mesadas, hornos, hornallas, entre otras. Los principales ingredientes del producto son: tensioactivos, disolventes, agentes alcalinos, agentes quelantes, diluyentes, fragancias, colorantes, espesantes y agua. Las materias primas son Lauril éter sulfato de sodio (LESS), soda cáustica, alcohol isopropílico (IPA) y cocoamido propil betaína (CAPB). Los productos

de limpieza antigrasa tienen la particularidad de poseer un pH alcalino ya que dicho pH ayuda a descomponer y eliminar eficazmente la grasa y los aceites, así como otros residuos difíciles. En cuanto a su formato, el producto se presenta al consumidor en botella o doypack de 450 ml.

2.3.2.2. Elaboración de líquidos de limpieza vidrios.

Para la producción del líquido limpiavidrios las materias primas son Lauril éter sulfato de sodio (LESS), soda cáustica, alcohol isopropílico (IPA) y cocoamido propil betaína (CAPB) mientras se agita la mezcla. El pH del producto limpiavidrios debe ser neutro. En cuanto a su formato, el producto se presenta al consumidor en botella o doypack de 450 ml.

2.3.2.3. Elaboración de líquidos de limpieza baños.

Los productos de limpieza para baños tienen como objetivo eliminar y remover de manera eficaz la suciedad, manchas y residuos comunes en superficies de baños. Dentro de los objetivos específicos de este producto, encontramos la eliminación de manchas de agua dura, incrustaciones minerales y cal. Su pH puede oscilar en el rango de 4 a 6. Algunas de las materias primas más comunes utilizadas en estos productos incluyen tensioactivos, agentes ácidos, agentes blanqueadores, agentes desincrustantes, fragancias, colorantes y agua. Las materias primas utilizadas son el alquilbenceno sulfonato lineal (LAS), Alcohol Isopropílico (IPA), ácido cítrico, hipoclorito de sodio y agua. El producto es envasado en formato doypack de 450 ml.

2.3.2.4. Elaboración de líquido en crema de limpieza para superficies múltiples.

Los productos de limpieza en superficies múltiples tienen como fin una limpieza eficaz, una versatilidad de usos en cuanto a las superficies a limpiar como lo son azulejos, bachas, electrodomésticos, mesadas, entre otros. Algunas de las materias primas más comunes utilizadas en estos productos incluyen tensioactivos, cargas o abrasivos suaves, espesantes, fragancias, y agua. Las materias primas son el alquilbenceno sulfonato lineal (LAS), Lauril éter sulfato de sodio (LESS) y Carbonato de calcio. Una vez que esta mezcla se encuentre homogénea se adiciona el colorante y perfume. En cuanto al formato, el producto es comercializado en botellas de 750ml.

2.3.3. Elaboración de jabones líquidos para lavar la ropa

Los jabones líquidos para lavar la ropa tiene como objetivo penetrar bajo las fibras del tejido textil y así eliminar la suciedad, grasa, manchas o restos de alimentos que pueda contener la prenda de ropa. No obstante también busca proteger los colores y la calidad del tejido textil, aportando suavidad a la prenda luego de ser lavada. Este producto está compuesto por una amplia variedad de productos químicos, entre ellos encontramos surfactantes, enzimas, disolventes, agentes quelantes, estabilizadores, agentes blanqueadores, inhibidores de espuma, fragancias y colorantes.

Las materias primas principales son: agua, soda cáustica, LESS, salmuera y enzimas. Aunque principalmente se encuentra compuesto por tensioactivos. El semielaborado producido es dirigido a la línea de empaque para que se envase en botellas de 350ml para las fórmulas concentradas las cuales tienen menos concentración de agua y para las diluidas en doypack de 900 ml y 3l. La versión concentrada, también denominada en el mercado como “para diluir” tiene como objetivo que el consumidor diluya el jabón líquido concentrado en un recipiente antes de utilizarlo. Esto disminuye costos en el transporte y packaging, no obstante, los efluentes provenientes de esta producción cuentan con una mayor concentración de parámetros críticos para el tratamiento de efluentes.

2.3.4. Elaboración de suavizantes líquidos para ropa

Los jabones líquidos para lavar la ropa y los suavizantes de ropa son productos diseñados para usarse en el proceso de lavado, pero tienen funciones y propiedades diferentes. Esta diferencia se ve reflejada en la materia prima, los suavizantes de ropa contienen compuestos catiónicos como su ingrediente activo principal. Los suavizantes para lavar la ropa tienen como objetivo principal mejorar la textura y la suavidad de las prendas después del lavado. Además, proveen una reducción del tiempo de secado, aromas, reducción de la estática y facilitan el planchado. Las principales materias primas son: compuestos catiónicos, fragancias, colorantes, agentes estabilizadores y agua. Las materias primas son cuaternario de amonio (Quat), Alcohol Cetoestearílico, Cloruro de Trimetil Amonio (CTAB), Cloruro de Dialquil Dimetil Amonio (DADMAC), Cloruro de Behentrimonio y agua. En cuanto al formato, el producto es comercializado en doypack de 900 ml o 3l.

2.4. Residuos Sólidos

La industria de productos del cuidado del hogar genera residuos en sus distintas etapas de proceso productivo. Algunos de estos residuos son asimilables a los residuos sólidos urbanos y otros provenientes de químicos, son catalogados como residuos especiales.

2.4.1. Residuos Sólidos asimilables a urbanos

Se generan residuos sólidos en las etapas de recepción de materias primas, envasado de producto terminado, mantenimiento, depósito, desarrollo de la vida humana del personal, entre otros. Estos residuos pueden catalogarse como reciclables, orgánicos y residuos generales. Estos últimos no son reciclables ni compostables.

Los principales residuos generados son los reciclables. Estos se generan en las líneas de empaque siendo: cartón , plásticos rígidos y plásticos flexibles. El cartón es utilizado para la formación de cajas que luego contendrán productos terminados en formato doypack o botella. La merma proveniente de los cartones surge a partir de la mala calidad del cartón y su incapacidad de formar una caja adecuada o por problemas en la formación de la caja como pueden ser roturas o falta de pegamento. En cuanto a los plásticos, su generación está dada principalmente por los envases vacíos o dañados con o sin producto. Para el caso del doypack puede ocurrir un incorrecto formado o acoplado del laminado y que no se genere el recipiente adecuado. Por otro lado, en cuanto a las botellas de plástico rígido pueden sufrir golpes o roturas en la sección del ordenador provocando que las mismas sean desechadas. También se generan otros residuos reciclables como film y stretch, maderas, metales, bujes de cartón y plástico, entre otros.

Además, se cuenta con generación de residuos generales provenientes del desarrollo de los empleados de la fábrica. Se generan en las áreas de oficinas, baños, cocinas, entre otros. Los residuos generales más frecuentes son restos de comida, papel sanitario, servilletas, restos de barrido, envases de comida y vasos descartables. Algunos de estos son compostables como las cáscaras de fruta y verdura, yerba, té y café.

Las fracciones de residuos serán clasificadas y separadas desde su origen, utilizando contenedores debidamente identificados. Esto permitirá llevar a cabo una correcta disposición final, fomentando la economía circular. De esta manera, la industria se compromete a no disponer residuos en rellenos sanitarios si no que optar por alternativas

como generación de combustible derivado de residuos, recupero de materiales, compostaje, entre otros.

2.4.2. Residuos especiales

En cuanto a los residuos especiales son generados en la planta productiva o en el taller de mantenimiento y estos son bidones, tambores, trapos, guantes y plásticos contaminados, bases, ácidos, grasas, residuos de productos no conformes, residuos de colorantes y empaques contaminados. Estos residuos son clasificados y separados en origen, caracterizados según su peligrosidad, rotulados y almacenados en forma temporal en el centro de acopio, para luego ser entregados a gestores autorizados para la recolección, tratamiento y disposición final de los mismos. La empresa dispone entre 4000 a 6000 kg de residuos peligrosos al mes para una producción de 354.396 toneladas. Este porcentaje varía según los meses que se realicen paradas de mantenimiento programadas, obras, ampliaciones, modificaciones en las líneas, entre otras actividades que pueden generar un pico de estos residuos en el año.

2.5. Efluente gaseoso

En la industria de productos del cuidado del hogar, pueden generarse varios tipos de efluentes gaseosos como subproductos de los procesos de fabricación. Estos efluentes gaseosos pueden variar según el tipo de producto, los procesos involucrados y las tecnologías utilizadas en la planta. Además, se cuenta con una caldera a gas natural que genera gases de combustión. Algunos ejemplos de efluentes gaseosos que podrían generarse en esta industria incluyen vapores y gases de reactivos químicos, vapores de disolventes, gases de combustión, vapores de secado, entre otros.

2.6. Descripción y caracterización del efluente líquido

En este apartado se presenta la descripción y caracterización del efluente líquido a tratar. Como se mencionó anteriormente, los efluentes son generados por las limpiezas de los tanques, cañerías y líneas de empaque utilizadas para fabricar los distintos productos del cuidado del hogar. La planta productiva opera los 7 días de la semana, las 24hs. Al finalizar la producción de un producto determinado, se procede a lavar los equipos en donde se da a la generación del efluente industrial.

En la tabla Tabla 2.2 se presentan los valores de diferentes parámetros fisicoquímicos del efluente, proporcionados por mediciones del efluente generado por la empresa y realizado por un laboratorio externo.

La descripción específica del efluente generado por la industria de productos del cuidado del hogar se logró por medio de un muestreo compuesto, llevado a cabo en el pozo de bombeo o fosa de producción. Este seguimiento se llevó a cabo en un día laborable, durante el funcionamiento normal de la planta, por un laboratorio de categoría A, en cumplimiento con las disposiciones de la Resolución 41/2014 del Ministerio de Ambiente de la provincia de Buenos Aires. Los resultados de dicho monitoreo son fundamentales para llevar a cabo la planificación de las distintas etapas del tratamiento en cada unidad correspondiente. Los datos fueron provistos por una empresa líder en el mercado de productos para el cuidado del hogar. Además, se realizó una búsqueda bibliográfica para sustentar los datos obtenidos experimentalmente con valores teóricos. Dado a la complejidad del efluente del proyecto, se tomaron fuentes bibliográficas de diversas industrias similares, como la cosmética, detergentes y jaboneras. (Vanegas, 2019) (Carmona, 2008) (Mosquera, 2017) (Monterroso, 2018) (Metin & Çifçi, 2023) (Gonzalez et al., 2006)

Tabla 2.2: Características de los efluentes de la empresa fabricante de detergentes y productos para el cuidado del hogar. Fuentes adicionales al muestreo: (Vanegas, 2019) (Carmona, 2008) (Mosquera, 2017) (Monterroso, 2018) (Metin & Çifçi, 2023) (Gonzalez et al., 2006)

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal pico Horario	30	m ³ /h
Caudal medio diario	141,64	m ³ /d
DQO	15.292	mgO ₂ /l
DBO ₅	5.363	mgO ₂ /l
DBO ₂₁	8.785	mgO ₂ /L
Sólidos suspendidos totales (SST)	15.194	mg/l
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	4.414	mg/l
Nitrógeno Total de Kjeldahl (NTK)	106	mg/l
Nitrogeno Amoniacal (N-NH ₃)	6	mg/l
Fósforo Total (P)	5	mg/l
Detergentes (SAAM)	3.832	mg/l
pH	9,05	u de pH
Sustancias solubles en eter etílico (SSEE)	120	mg/l
Temperatura	18	C

La industria de productos del cuidado del hogar se caracteriza por contener altas concentraciones de materia orgánica (DQO) y Detergentes (SAAM). Cabe destacar que la biodegradabilidad (DBO₅/DQO) del efluente a tratar es muy baja, siendo este de un valor de 0,35. Esto puede deberse a la presencia de sustancias inhibitorias (tóxicas) en el efluente a tratar. Por otro lado, si se analiza el valor de la biodegradabilidad en términos de DBO₂₁, se puede observar que el efluente presenta un índice de 0,6. Esto puede entenderse como que el efluente presenta compuestos biodegradables de gran complejidad que necesitan más tiempo para ser degradados, es decir al pasar los 5 días, las mediciones demuestran que el

efluente tiene potencial para ser degradado biológicamente. Los valores presentes en la tabla son del efluente industrial aunque la planta de tratamiento a emplazar también tratará el efluente cloacal proveniente del desarrollo de los empleados de la planta. Lo que supondrá un aumento en el valor de la biodegradabilidad del efluente en el ingreso al tratamiento secundario. Distintos autores han analizado el índice de biodegradabilidad de efluentes similares y evaluando diferentes combinaciones de tratamiento primario y secundario a modo de tratar efectivamente este tipo de efluentes industriales (González et Al 2006) (Zhou et Al 2009) (Metin,2023) (Aloui,2009)

2.7. Efluente cloacal

Los efluentes domiciliarios son generados en los vestuarios por duchas y baños, en oficinas, sector de comedor y cocinas. Los mismos deben ser tratados en la planta de tratamiento de efluentes líquidos debido a que no se cuenta con una red cloacal cercana para volcar dichos efluentes. En la industria se cuenta con 500 empleados diarios. Por un lado, los elaboradores se dividen en 3 turnos de 8 horas y por otro lado los administrativos se encuentran en horario central, de 8 am a 17 pm. De esta manera no se cuenta con un flujo total de 500 empleados en todos los turnos. De los mismos 100 empleados son administrativos que asisten al establecimiento en horario central mientras que se cuenta con aproximadamente 130 operadores en los tres turnos. La empresa brindó los caudales de generación de efluente cloacal, siendo el caudal de 74,78 m³/d. Este caudal ingresará en el tratamiento secundario junto con el efluente industrial de manera que estimule el crecimiento de los microorganismos ya presentes. Esto es debido a que posee un índice de biodegradabilidad mayor que el industrial aunque su caudal sea menor. En la tabla 2.3 se observan las características del efluente cloacal. La caracterización del efluente fue consultada por medio de bibliografía.

Tabla 2.3: Características de efluente cloacal Fuente: (Bachur & Ferrer, 2023) (Francia, G. 2010)(Von Sperling, M. 2007) (Metcalf & Eddy, 2003) (McCarty Et. Al. 2000).

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	74,78	m ³
DQO	400	mgO ₂ /l
DBO ₅	200	mgO ₂ /l
Sólidos suspendidos totales (SST)	720	mg/l
Nitrógeno Total de Kjeldahl (NTK)	40	mg/l
Fósforo Total (P)	8	mg/l
pH	7,7	u de pH
Temperatura	18	C

3. Marco normativo

La normativa aplicable al proyecto es la Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA). Esto es debido a que el mismo se emplaza en Pilar, Buenos Aires, Argentina. En la Tabla 3.1 se observan los límites de descarga a cuerpo de agua superficial pertinentes para los parámetros físico químicos. El vuelco del efluente tratado es el colector industrial del parque el cual desemboca en el río Luján.

Tabla 3.1: Valores máximos permitidos de vuelco de parámetros físico-químicas en el vertido industrial en cuerpos de agua superficiales están definidos por la resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA) para la Provincia de Buenos Aires. *NE (no específica). Fuente: elaboración propia

Parámetro	Limite de descarga a cuerpo de agua superficial (Res. 336/03)	Unidad
DQO	≤ 250	mg/l
DBO5	≤ 50	mg/l
Sólidos suspendidos totales (SST)	NE	mg/l
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	NE	mg/l
Nitrógeno Total de Kjeldahl (NTK)	≤ 35	mg/l
Nitrogeno Amoniacal (N-NH3)	≤ 25	mg/l
Fósforo Total (P)	≤ 1,0	mg/l
Detergentes (SAAM)	≤ 2,0	mg/l
pH	6,5 - 10	u de pH
Sustancias solubles en éter etílico (SSEE)	≤ 50	mg/l
Temperatura	≤ 45	C

Además, el desarrollo del presente proyecto se encuadra dentro de un marco legal ambiental integrado por leyes nacionales, provinciales y ordenanzas municipales del partido de Pilar que se encuentran detalladas en la tabla 1 , anexo I.

4. Alternativas y Memoria Descriptiva

Descripción de los procesos de tratamiento

En esta sección se analizarán las alternativas de los tratamientos a plantear para tratar el efluente. Considerando los parámetros mencionados en la caracterización del efluente de la industria de detergentes, jabones, suavizantes para la ropa y productos de limpieza como limpiavidrios, antigrasa y baños mencionados en la tabla 2.2 y aquellos valores límites propuestos por las normativas que se observan en la tabla 3.1.

Se confeccionaron dos alternativas para el tratamiento del efluente en cuestión. A su vez, se deberán analizar las eficiencias de remoción de los contaminantes para cada una de las alternativas, en conjunto con los costos asociados al diseño, construcción y mantenimiento de las mismas. La planta en cada uno de los casos contará con un pretratamiento, un tratamiento primario, secundario y terciario así como el tratamiento de barros generados. Se muestran ambas alternativas en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Alternativas de tratamiento para el efluente líquido de la industria de detergentes y productos para el cuidado del hogar.

	Alternativas de tratamiento	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Pretratamiento	Sistema de rejas autolimpiantes	Sistema de rejas autolimpiantes
	Ecuador	Ecuador N1
Tratamiento Primario	Coagulación-Floculación	Coagulación-Floculación
		Sedimentador
	Sedimentador	Tratamiento de oxidación avanzada - Fenton
Tratamiento Secundario	Lodos activos	Ecuador N2
	Sedimentador	MBR
Tratamiento Terciario	Laberinto de cloración	Laberinto de cloración
Tratamiento de Lodos	Acopio de lodos	Acopio de lodos
	Agregado de polímero	Agregado de polímero
	Secado con filtro deshidratador	Secado con filtro deshidratador

Ambos trenes de tratamiento cuentan con el mismo pretratamiento y se diferencian en el tratamiento primario y secundario. El pretratamiento tiene como fin disminuir la presencia de sólidos de gran tamaño, protegiendo la mecánica del tratamiento. Además,

regula el caudal y carga de ingreso al tratamiento primario. El mismo está compuesto por un sistema de rejillas manuales y un equalizador. El objetivo del tratamiento primario es lograr que el efluente sea lo más biodegradable posible para ser tratado en las unidades biológicas. Cabe destacar que la biodegradabilidad (DBO_5/DQO) del efluente a tratar es baja, siendo este de un valor de 0,35 (UNSAM,2022). Los valores presentes en la tabla 2.2 son del efluente industrial aunque la planta de tratamiento a emplear tratará el efluente industrial y cloacal lo que supondrá, en conjunto con el tratamiento primario, un aumento en el valor de la biodegradabilidad del efluente en el ingreso al tratamiento secundario. El efluente cloacal será tratado por un sistema de rejillas y luego se mezcla con el industrial en una cámara de homogeneización previo a su entrada al tratamiento biológico. El tratamiento primario, como se observa en la tabla 4.1 consta de un proceso de coagulación - floculación y sedimentación para ambas alternativas, mientras que en la alternativa 2 se le adiciona un proceso de oxidación avanzada con el objetivo de degradar parcialmente a la materia orgánica presente en el efluente. Un efluente como el de este proyecto, el cual presenta una alta cantidad de detergentes, bactericidas o productos enzimáticos puede llevar a problemas con los microorganismos o no ser completamente degradados en el tratamiento secundario. Es por ello, que el tratamiento primario y su efectividad resulta de suma importancia para que el efluente al ingresar al tratamiento biológico sea degradado y no dañe la flora microbiana.

Además, las alternativas difieren en el tratamiento secundario. Por un lado, la alternativa 1 cuenta con un sistema de lodos activados mientras que la alternativa 2 un reactor biológico de membranas (MBR). Luego, en ambas alternativas el efluente al salir del tratamiento secundario pasará por el tratamiento terciario el cual consiste en un laberinto de cloración. Este último paso del efluente es crucial para cumplir con los parámetros de vuelco establecidos por la autoridad de aplicación. En cuanto a los lodos generados como residuo del tratamiento del efluente líquido, se desea reducir al máximo el contenido de humedad de los mismos lo que conlleva a una reducción en volumen de los lodos. Los lodos provenientes del tratamiento primario contienen entre un 94 y 97% de humedad (Metcalf & Eddy) mientras que los lodos del tratamiento secundario entre 95 y 98% (WEF Press, 2014) Esta deshidratación de lodos es crucial para reducir los costos que incluyen el transporte y su posterior tratamiento. Por último, el efluente tratado será liberado al colector del parque industrial y luego al río Luján.

4.1. Pretratamiento

La etapa de pretratamiento desempeña un papel fundamental al separar los sólidos, tanto gruesos como finos, acondicionando al efluente para su posterior tratamiento. El sistema de pretratamiento está compuesto por rejillas manuales y un tanque equalizador. En cuanto a los principales objetivos del pretratamiento, implican la eliminación de sólidos suspendidos de mayor tamaño (> 1 cm) y de residuos que podrían ingresar al sistema de desagüe. El propósito principal de esta remoción es prevenir obstrucciones o acumulaciones que podrían causar un mal funcionamiento de los equipos e instalaciones. Por otro lado, la cámaras de equalización o compensación, cumple con una función de regular el pH, la temperatura, la carga orgánica y el caudal del agua residual antes de que ingrese a las unidades de tratamiento primario. Esto contribuye a optimizar el rendimiento de las etapas subsiguientes del proceso de tratamiento.

4.1.1. Sistema de rejillas

El pre tratamiento comienza con un sistema de rejillas. Una vez que el efluente sea retirado del área productiva, al mismo se lo desplaza por las rejillas a fin de atrapar en las mismas a los sólidos de gran tamaño que podrían atorarse en las unidades posteriores. Existen rejillas gruesas, medias y finas. En primer lugar, las rejillas gruesas son utilizadas como protección de las unidades posteriores de elementos cotidianos de la producción que podrían atorarse o afectar el desarrollo de la planta de tratamiento de efluentes. Por otro lado, las medias y finas están enfocadas en la reducción de sólidos en suspensión. El tamaño de residuos que podrán retener va a depender del tipo de rejilla elegida y el espacio entre barrotes. Además, las rejillas pueden ser de limpieza automática o manual. Para este caso, se seleccionan rejillas manuales. Por un lado, el efluente industrial cuenta con rejillas gruesas y el cloacal con gruesas y finas. Las rejillas suelen estar inclinadas con ángulos de entre 60° y 80° , por otro lado su longitud debe ser adecuada para la limpieza. (Ramalho, 2003). Una vez que los sólidos son retenidos y rastrillados se colocan en una placa perforada en la parte superior de la rejilla para que escurra el líquido remanente. La limpieza dependerá de la cantidad de sólidos presentes en el efluente y de la velocidad del mismo en el canal. Los sólidos una vez que sean removidos deben ser dispuestos adecuadamente.

Estos al ser asimilables a los domiciliarios podrán ser segregados y reciclados u utilizados como combustible alternativo.

4.1.2. Ecuación

El efluente, previo a su ingreso al proceso de tratamiento primario, atraviesa un tanque de homogeneización. En primer lugar, se busca la mezcla efectiva de las corrientes de aguas residuales, incluyendo aquellas de naturaleza ácida y alcalina, con el fin de lograr una uniformidad en términos de pH y temperatura. Además, este tanque de homogeneización se encarga de suavizar las variaciones en el caudal, asegurando así un flujo constante que se dirige hacia el tratamiento primario. Por último, su contribución es fundamental para reducir las fluctuaciones en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del influente que llega a los sistemas de tratamiento, en particular, los procesos biológicos.

Los tanques de ecuación pueden ser de nivel constante o variable. En este proyecto se emplean de nivel variable. La ecuación de nivel variable consiste en un efluente que ingresa al tanque con un caudal variable y que su salida del mismo sea a caudal constante, cumpliendo con su función principal de homogeneizar al efluente. Específicamente, se emplean dos ecualizadores de nivel variable debido a que lo que se busca es que el caudal de egreso del ecualizador sea constante. Un ecualizador se encuentra en el pre tratamiento y otro se encuentra luego de que el efluente industrial pase por el tratamiento primario para homogeneizar a la misma con la corriente cloacal. (Metcalf & Eddy, 2003). En la figura 4.1 se observa el esquema de funcionamiento de un ecualizador.

Dentro de las ventajas de emplear esta unidad podemos mencionar la mejora en el rendimiento de la coagulación, floculación y sedimentación debido al ingreso de SST constante. Por otro lado, también conlleva a mejoras en el tratamiento biológico, esto es debido a la dilución de sustancias inhibitorias para el crecimiento biológico, estabilización del pH y la compensación de carga.

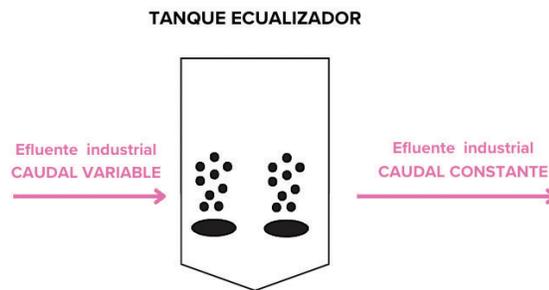


Figura 4.1 Esquema básico de un tanque ecualizador de nivel variable. Elaboración propia a partir de Fuente: Marín, A., & Osés, M. (2013)

4.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario se caracteriza por ser un tratamiento físico químico, el cual está compuesto por las unidades de coagulación, floculación y sedimentación primaria para la alternativa 1. Mientras que para la alternativa 2 se adiciona un proceso de oxidación avanzada (fenton). La fase de tratamiento primario se caracteriza por la remoción de partículas suspendidas ($> 1 \mu\text{m}$) y coloidales ($10^{-3} - 1 \mu\text{m}$). Tiene dos objetivos principales, por un lado la sedimentación de sólidos sedimentables y en suspensión. Por otro lado, en el caso de la alternativa 2, donde se adiciona una oxidación avanzada, la disminución de la DQO y aumento de la DBO a partir de una oxidación parcial de la materia orgánica. En cuanto a las eficiencias de remoción, específicamente para la alternativa 1, para la DQO ronda en un 40% y un 60% para sólidos suspendidos. (Metcalf & Eddy 2003). Mientras que la eficiencia de remoción de un tratamiento primario como se plantea en la alternativa 2 supone mayores eficiencias de remoción y una mayor eficiencia del tratamiento secundario, logrando degradar biológicamente más materia orgánica (Aloui Et. Al, 2009)

4.2.1. Coagulación - Floculación

La coagulación y floculación es el proceso por el cual se eliminan del efluente a las partículas suspendidas sólidas o coloidales mediante la aglomeración de las mismas en flocs. El efluente industrial fluye desde el ecualizador hacia la cámara de coagulación y

posteriormente hacia la cámara de floculación. Los coloides poseen carga negativa, que crean una fuerza de repulsión, esto les permite ser estables en el medio acuoso y a su vez la repulsión entre las mismas lo que imposibilita la aglomeración y posterior sedimentación por sí solas. (Eckenfelder 1999)

En estas dos etapas ocurren dos procesos distintos. Por un lado, en la coagulación por medio de la dosificación de un coagulante se anulan las fuerzas electrostáticas repulsivas y de esta manera se neutraliza la carga eléctrica de los coloides. Los coagulantes más frecuentemente utilizados son el sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico y policloruro de aluminio (PAC).

Para la determinación de los químicos utilizados se realizó un estudio jar test con el efluente industrial y además se consultó fuentes bibliográficas para asegurar las eficiencias de remoción de los parámetros relevantes (Aboulhassan, 2006).

En este proyecto se opta por la utilización del cloruro férrico (FeCl_3). Se escoge este coagulante debido a su efectividad y costos. Según Metin & Çifçi (2023) el cloruro férrico es un coagulante con alta capacidad de desestabilizar materiales coloidales, formar flocs efectivos y ser una opción económica y disponible para el tratamiento de aguas residuales de la industria química. Este coagulante, contiene cationes trivalentes de hierro, tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas negativas que rodean a las partículas coloidales. El coagulante tiene como objetivo neutralizar a los coloides, lo que implica que las fuerzas de repulsión serán menores a las de atracción provocando la aglomeración de manera que se formen partículas más grandes con capacidad de sedimentar.

El proceso se ve favorecido por una mezcla rápida con un corto tiempo de contacto entre el coagulante y el efluente. El coagulante entra en contacto con el agua y se hidroliza, en este corto tiempo de contacto y alta velocidad de mezcla el mismo es adsorbido por las partículas coloidales presentes en el efluente. La mezcla no debe ser de más de 20 a 60 segundos y las velocidades de agitación rápidas van de entre 100 a 350 rpm. Por otro lado, el tipo de mezcla para la coagulación se realiza con un agitador mecánico de flujo radial.

En cuanto al pH cabe mencionar que cada producto químico tiene un rango de pH en el cual se debe trabajar para que la coagulación sea lo más eficiente posible. Se decide adicionar Cal para elevar el pH. Además potencia la estabilización de los flocs en el efluente.

La segunda etapa consiste en el proceso de floculación en el cual las partículas en el efluente colisionan entre sí por medio de una mezcla lenta y de esta manera aumentan su tamaño. Como se mencionó anteriormente, el coagulante provoca la formación del flóculo, no obstante para que los mismos precipiten y se obtenga una efectiva separación de fases líquido - sólido se adiciona el floculante para aumentar las posibilidades de que los coloides se encuentren en la mezcla con un flóculo y precipitan. El floculante es un compuesto químico de origen orgánico, en este caso se emplea polimérico Lipesa-1538 (copolímero de acrilamida y acrilato de sodio). La velocidad de mezcla es baja, ronda entre 10 y 40 rpm esto es así para evitar romper los flóculos que se formen. En cuanto a la agitación, se realiza con un agitador mecánico de flujo axial. Por otro lado, el tiempo de contacto es mayor que en la coagulación, siendo este de 15 y 30 minutos.

Existen diversos parámetros a evaluar para el diseño de este proceso, mediante ensayos de laboratorio como el jar-test se determinan los valores de los principales parámetros. Estos son el tipo y dosaje del coagulante y floculante, pH , temperatura, tiempo de agitación y velocidad de agitación. De esta manera se optimizan los materiales y mano de obra. Por otro lado, la temperatura del efluente es un parámetro clave a la hora de la formación del floc. A menor temperatura de la óptima, se debe aumentar la dosis de coagulante para obtener el tamaño de flocs necesarios para su posterior sedimentación.

A partir de un ensayo jar test se término que la implementación de cloruro férrico y cal mejora la sedimentación de los sólidos presentes en el efluente. En la figura 4.2 se observa una muestra del efluente en agitación a pH 9, luego en la figura 4.3 se le adiciona cloruro férrico, en este estadio, la solución tiene ph 2 lo que imposibilita la sedimentación, es por esto que suele emplearse cal para elevar el pH y así formar un precipitado. Esto se modela a través de la ecuación 4.1 (Metcalf & Eddy, 2002)

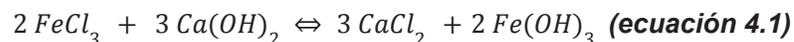




Figura 4.2 : Efluente industrial en constante agitación. **Figura 4.3:** efluente industrial en agitación constante con agregado de cloruro férrico y cal.

Luego, en la figura 4.4 se observa el resultado de la adición de polímero con un pH final de 9. Asimismo, en el presente ensayo no se observa la presencia de grasas o sustancias en flotación. Esto puede deberse a que se encuentran en muy baja concentración o mismo que el proceso de coagulación-floculación logra desestabilizar cargas y aglomerar a las grasas. Se estima que en el posterior tratamiento primario y secundario se alcanzará al límite admisible de vuelco. Por otro lado, según el tratamiento primario la eficiencia de remoción de SSEE se encuentra en un rango de 70% a 90% (Mosquera, 2017). De esta manera se descarta la necesidad de una unidad en el tratamiento primario adicional específica para el tratamiento de grasas y aceites solubles en éter etílico como lo es por ejemplo una flotación.



Figura 4.4: Efluente industrial luego del agregado de polímero

El proceso de coagulación-floculación logra eficiencias de eliminación del 70% al 90% para sólidos suspendidos, superiores al 90% para fósforo, y del 50% al 60% para DBO, según Mosquera (2017).

4.2.2. Sedimentación

La sedimentación es el proceso por el cual se separan las fases sólido-líquido mediante asentamiento gravitacional. El fin de esta unidad es reducir el contenido de sólidos en suspensión mediante la eliminación de los sólidos fácilmente sedimentables. Hay cuatro tipos de sedimentación que se diferencian en las concentraciones de sólidos y las interacciones entre ellos. Particularmente en esta etapa del proceso se trata de un sedimentador primario del tipo II. Esta se basa en la sedimentación de partículas floculantes en suspensión diluida, dado al tiempo de permanencia en el sedimentador, estas partículas se aglomeran, aumentan su tamaño y decantan.

Un sedimentador se divide en cuatro zonas, estas son: de entrada, de sedimentación, de salida y de lodos. En la primera zona, es decir la de entrada se produce el ingreso del efluente, los sólidos suspendidos se dispersan uniformemente a través de la sección transversal del sedimentador. En la zona de sedimentación, los flocs generados en el proceso anterior precipitan por acción gravitatoria. Estas partículas llegan a la zona de lodos, donde se acumulan y luego son retiradas. El efluente clarificado, egresa por la zona de salida y es colectado por canaletas y transportado hacia el conducto de salida.

Los sedimentadores pueden ser rectangulares o circulares dependiendo de esta geometría los flujos serán radiales u horizontales. En los circulares, el efluente ingresa por una cañería central de forma uniforme o alrededor de la periferia del tanque, aunque el ingreso central es el más utilizado. En contraste, los rectangulares ingresan por una placa perforada en la zona de entrada, al inicio del también de manera uniforme. También difieren en la confección de la zona de salida, para los circulares la salida se da por todo el perímetro mientras que en los rectangulares se da en el último tercio del rectángulo y por medio de canaletas.

En cuanto a las dimensiones generales del sedimentador, los circulares suelen tener una profundidad que oscila entre 3 y 5 metros, un diámetro que varía de 3,6 a 60 metros y una pendiente en el fondo que se sitúa entre 80 y 160 milímetros por metro. Mientras que, los sedimentadores rectangulares presentan una profundidad que va de 3 a 5 metros, una longitud que abarca de 15 a 90 metros y un ancho que varía entre 3 y 24 metros. Los sedimentadores rectangulares suelen usarse cuando el efluente presenta altos caudales para reducir los costos y optimizar el espacio disponible. En el caso de la industria de productos del cuidado del hogar se emplearán sedimentadores circulares. En la figura 4.5 se observa un sedimentador circular. El mismo tiene una alimentación central, un colector de espumas y de lodos.

Como se mencionó anteriormente, en la sedimentación se producen lodos provenientes de la precipitación de los sólidos suspendidos. Para los tanques circulares, el sistema de extracción de lodos depende del diámetro del mismo, aquellos con un diámetro de 3,6 a 9 metros tienen dicho equipamiento apoyado en vigas que atraviesan el tanque. En cambio, para los sedimentadores con un diámetro de 10,5 metros o más, suelen tener un muelle, al cual se accede por un puente y el mismo soporta el mecanismo. Los sistemas de remoción de lodos pueden clasificarse en dos tipos: el método de arado y el método de azada rotativa. El primero implica el uso de arados escalonados conectados a dos brazos opuestos que se desplazan a una velocidad de aproximadamente 3 metros por minuto. En contraparte, el sistema de azada rotativa cuenta con una serie de raspadores cortos suspendidos de un puente de soporte giratorio que se desplaza sobre cadenas sin fin. Estos raspadores recogen los lodos haciendo contacto con el fondo en el perímetro y avanzan hacia el centro del tanque. Hacia el fondo del sedimentador se encuentra una pendiente de aproximadamente 1 en 12 (vertical: horizontal), de esta manera se forma un cono invertido que permite que los sólidos se acumulen en una tolva ubicada en el centro del tanque. En

cuanto a la extracción de los mismos, se suele utilizar bombas, como por ejemplo bombas tornillo, para luego tratarlos y deshidratarlos.

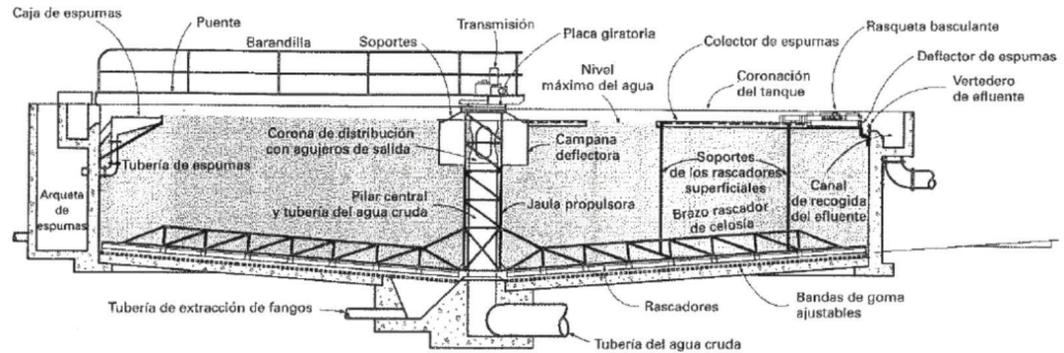


Figura 4.5: Esquema básico de un sedimentador circular con alimentación central, colector de espumas y recolector de lodos. Fuente: (Metcalf & Eddy, 2002)

4.2.3. Proceso de oxidación avanzada (Alternativa 2)

El efluente de la industria de artículos del cuidado del hogar se caracteriza por poseer compuestos difíciles de degradar biológicamente (recalcitrantes o refractarios) o que su degradación biológica es lenta, un ejemplo de esto son los compuestos persistentes o tóxicos para los microorganismos. Es por esto que se emplean Procesos de Oxidación Avanzada (POA's) como tratamiento previo al tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la degradación a fin de disminuir la DQO refractaria y aumentar la biodegradabilidad del efluente. (Carmona, 2008).

Los POA's se caracterizan por generar especies reactivas transitorias altamente oxidantes, siendo el radical hidroxilo ($\text{HO}\cdot$) el agente oxidante primordial. Este radical posee una alta reactividad siendo su potencial redox (E^0) de 2,80 V y reacciona a velocidades muy altas con materia orgánica ($k: 10^8 - 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$) (Carmona, 2008). Estas especies reactivas son poco selectivas e inestables por lo que reaccionan con la materia orgánica existente lo que conlleva a la gran ventaja de estos procesos. El proceso no tiene como fin oxidar completamente a los compuestos orgánicos, pero su oxidación parcial es suficiente para que los compuestos presentes en el efluente sean degradados posteriormente en el tratamiento biológico. (Ince y Apikyan, 2000)

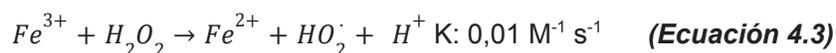
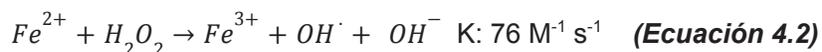
Estos procesos se clasifican en dos grupos según el origen de obtención de los radicales, los procesos pueden ser procesos fotoquímicos y no fotoquímicos. Algunos de los tratamientos más conocidos son ozono, radiación ultravioleta (UV), ozono en combinación con UV (O3/UV), ozono con peróxido de hidrógeno (O3/H2O2), peróxido de hidrógeno y luz ultravioleta (UV/H2O2), reactivo de Fenton y fotocatalisis. (Esplugas, 2002)

En relación a lo mencionado anteriormente, los Procesos de Oxidación Avanzada (POA) han demostrado mejoras en las eficiencias de remoción de DBO y DQO al combinarse con sistemas de tratamiento biológico. Esto se debe a que los POA oxidan los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales, transformándolos en productos orgánicos oxigenados y ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Estos productos resultantes son más fácilmente degradables por los microorganismos presentes en el tratamiento biológico (Lindsey, 2000) (Lopez Loveira, 2017)

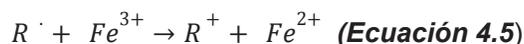
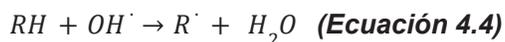
En otras palabras, los POA se pueden aplicar con el propósito de eliminar la toxicidad de un efluente industrial, lo que permite utilizar un tratamiento biológico en lugar de buscar la completa mineralización del agua residual. Esta estrategia no solo reduce los costos económicos del tratamiento, sino que también aprovecha la capacidad de los microorganismos para degradar de manera eficiente los productos orgánicos transformados por los POA.

4.2.3.1. Fenton

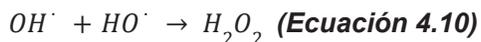
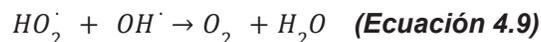
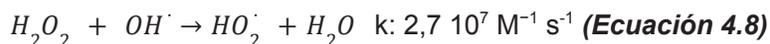
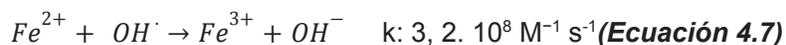
Una reacción Fenton es un tipo de POA no fotoquímico, el mismo se realiza en un reactor tipo tanque agitado mediante la adición de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y de sales de Fe²⁺ como catalizador. El objetivo de este tratamiento es eliminar sustancias tóxicas, mejorar la biodegradabilidad y reducir los valores de DQO y DBO. El proceso inicia con la adición de sales de ion ferroso (Fe²⁺) a pH entre 2,8 y 3, es decir en un medio ácido. De esta manera, se favorece a la descomposición catalítica del H₂O₂ produciendo radicales HO·. Dichos radicales oxidan a la materia orgánica presente en el efluente. A continuación se observa el esquema de la reacción (Carmona, 2008)



En presencia de sustancias susceptibles de reaccionar con los radicales HO·, otro posible esquema para la regeneración del catalizador (Fe²⁺) es (Al-Hayek y Doré, 1985):



El funcionamiento del proceso de oxidación Fenton puede ser perjudicado si en el entorno acuoso se encuentran cantidades excesivas de iones Fe²⁺, halógenos, H₂O₂ o radicales perhidroxilo, dado que estos elementos capturan los radicales libres HO·, tal como se ilustra en las ecuaciones siguientes:



El hierro es un eslabón fundamental para la iniciación del proceso fenton ya que la reactividad inicial se da en función de la concentración de Fe²⁺. Además, hay otros factores que influyen al rendimiento del proceso como lo son la temperatura, el pH, la concentraciones de catalizador y de H₂O₂ y de la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺. Por otro lado, el proceso depende de los compuestos orgánicos presentes en el efluente y de la velocidad de reacción de los mismos con el radical hidroxilo. Existen intermediarios de reacción que forman complejos con el Fe³⁺, de esta manera elimina al hierro del ciclo de reducción y oxidación del Fe provocando una inhibición de la oxidación de los compuestos orgánicos. (Al-Hayek y Doré, 1985).

En cuanto a los factores externos que afectan al rendimiento del proceso fenton, encontramos principalmente el pH y la temperatura. Este proceso, presenta su máxima actividad catalítica a pH 2,8-3,0, una variación del mismo conlleva a una reducción importante de su eficacia. Si el pH aumenta, y se encuentra en un rango entre 3 y 4, el Fe³⁺

precipita en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Por otro lado, el Fe^{2+} a este rango de pH forma complejos y sale del ciclo $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, inhibiendo la oxidación. En cuanto al H_2O_2 se descompone en agua y O_2 . Si el pH se vuelve más ácido, la regeneración del Fe^{2+} por reacción del Fe^{3+} con el H_2O_2 se ve inhibida. Para la temperatura se observan dos comportamientos opuestos, por un lado un incremento de la temperatura puede generar una desestabilización del H_2O_2 provocando que se descomponga en O_2 y agua, aunque la misma favorece a la cinética de reacción. (Bigda, R. 1995)

Dentro de las ventajas que presenta esta unidad de tratamiento, podemos mencionar la disponibilidad y bajo costo de las sales de hierro, el cual es un elemento no tóxico, la facilidad de manejo y operación del H_2O_2 y su descomposición en productos inocuos para el medio ambiente. Al combinarse un tratamiento de coagulación con FeCl_3 y el posterior proceso Fenton o foto fenton se demostró que se obtienen porcentajes altos de eliminación de DQO, que rondan entre 60 y 92% para estudios con aguas residuales de industria cosmética (Naumczyka et Al 2013). Otros estudios afirman que la combinación de coagulación con oxidación Fenton mejora aún más la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, reduciendo la carga sometida a la oxidación Fenton (Metin et Al 2023).

La aplicación del proceso Fenton antes de someter los efluentes industriales a un tratamiento biológico ofrece una ventaja significativa, ya que resulta en una eficiencia global notable en la eliminación de parámetros. Específicamente, se logra una remoción del 90% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), del 78% en los tensioactivos y del 70% en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Carmona, 2008)(Metin et Al 2023). Como se mencionó anteriormente este proceso busca mineralizar a los contaminantes complejos por lo que acondiciona al efluente antes de ser tratado por un tratamiento biológico. En la figura 4.6 se observa un esquema del proceso fenton en conjunto con un tratamiento secundario.

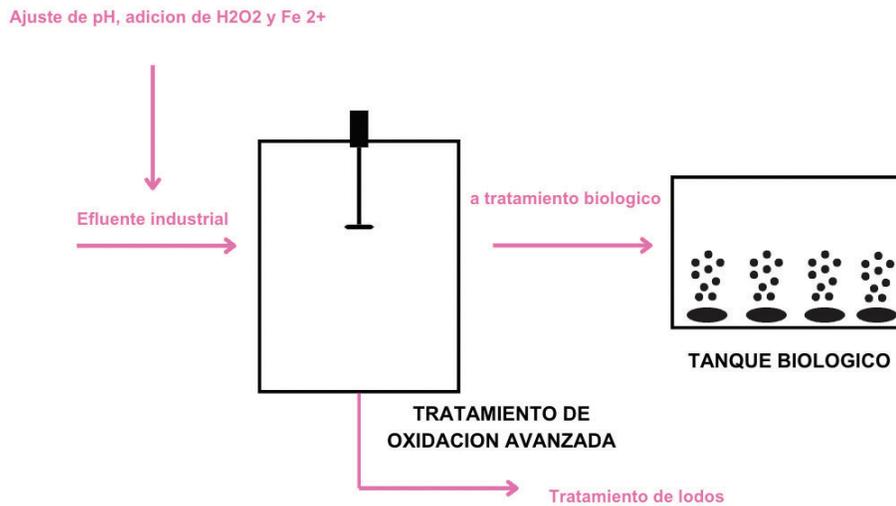


Figura 4.6 Esquema del proceso Fenton aplicado al tratamiento de efluentes industriales.
 Fuente: Elaboración propia a partir de Carmona, P. (2008)

4.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos con el fin de remover la materia orgánica biodegradable presente en el efluente. Esta remoción se da a través de la oxidación de la materia orgánica por parte de distintos microorganismos siendo los principales las bacterias. Los microorganismos oxidan la materia orgánica, aumentando su biomasa y generando un compuesto orgánico más simple. Además, este tratamiento tiene como objetivo coagular y remover sólidos coloidales no sedimentables, estabilizar la materia orgánica soluble, y degradar nutrientes como lo son el Nitrógeno y Fósforo. Para ello, se emplean procesos biológicos que pueden ser aerobios, anóxicos, anaeróbicos y combinados (aerobios con anóxicos o con anaerobios) según la naturaleza de los microorganismos que se emplean en el tratamiento y las condiciones del efluente. Además se pueden clasificar según si la biomasa se encuentra adherida o suspendida y el tipo de flujo como mezcla completa, flujo pistón o flujo arbitrario.

Para lograr una degradación efectiva de los contaminantes presentes en el efluente, es fundamental proporcionar a los microorganismos las condiciones óptimas. Estas incluyen la disponibilidad de una fuente de energía y nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos,

como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. Estas condiciones son esenciales para el desarrollo del ciclo de vida de los microorganismos, quienes utilizan la materia orgánica presente en el efluente como fuente de carbono. Esta materia orgánica se convierte en nueva materia celular a medida que los microorganismos sintetizan y llevan a cabo su proceso metabólico.

Los organismos quimioheterótrofos juegan un papel clave en la degradación de algunos contaminantes como el amoníaco, nitrito y sulfuro, esto es debido a que obtienen su energía por medio de la oxidación de compuestos inorgánicos reducidos. En esta etapa de la planta de tratamiento de efluentes líquidos confluyen el efluente cloacal e industrial. En cuanto al efluente industrial, es necesario su paso por un tratamiento primario. Para el caso de la alternativa 1 el mismo consiste en un tratamiento de coagulación, floculación y posteriormente una sedimentación. Por otro lado, la alternativa 2 comprende un tratamiento adicional de oxidación avanzada. Particularmente, el proceso fenton oxida a la materia orgánica tanto DBO como DQO está presente como compuestos más simples y potencia la eficiencia de remoción del tratamiento biológico. Es importante destacar que el efluente industrial cuenta con un índice de biodegradabilidad (DBO_5/DQO) de 0,35, este valor indica que el efluente es biodegradable aunque se encuentra entre los valores bajos de los límites de biodegradabilidad. Esto es debido a que en la industria de los productos del cuidado para el hogar hay una fuerte presencia de surfactantes y químicos que tienen como objetivo eliminar los microorganismos de la ropa, vajilla o superficies. Por otro lado, los efluentes de aguas residuales domésticas contienen cantidades significativas de nutrientes orgánicos e inorgánicos, lo que los hace adecuados para un tratamiento biológico efectivo con el objetivo de reducir los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es por esto que antes de ingresar al tratamiento biológico sufre un pretratamiento y es utilizado como inóculo para el tratamiento secundario. No obstante, los efluentes industriales pueden no presentar cantidades adecuadas y óptimas de nutrientes para satisfacer el crecimiento bacteriano, por lo que se añaden estos nutrientes. La proporción de carbono / nitrógeno / fósforo, expresada como 100:5:1, indica las necesidades nutricionales de nitrógeno y fósforo requeridas por los microorganismos, siendo el carbono representado por la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Esta relación se utiliza para determinar si las cantidades de nitrógeno y fósforo presentes en el efluente industrial satisfacen las cantidades teóricas necesarias o si es necesario agregar estos nutrientes durante el proceso de tratamiento biológico (Metcalf & Eddy, 2003)

En este proyecto se analizarán dos alternativas de procesos biológicos aeróbicos los cuales son aquellos que se dan en presencia de oxígeno. Entre los tratamientos aeróbicos los mismos pueden ser de biomasa suspendida o adherida. Iniciando con el análisis de la alternativa 1, se propone un tratamiento biológico tradicional el cual consta de un sistema de lodos activos. Por otro lado, la segunda alternativa propone un reactor MBR. Esta última alternativa en los últimos años se ha puesto mucho en práctica ya que tiene algunas ventajas frente al tratamiento por lodos activos. Entre ellos encontramos, mejor calidad del efluente tratado, tolerancia a variaciones en la carga, menor espacio, entre otras. Los biorreactores de membrana (MBR) se caracterizan por llegar a grandes concentraciones de biomasa debido a su alto tiempo de retención de los lodos generados, alcanzando hasta los 12 g/l de biomasa. La alta concentración de microorganismos aumenta la capacidad de degradación de moléculas orgánicas de gran tamaño y la presencia de los filtros proporciona una separación del lodo independientemente de la sedimentación de los mismos.

4.3.1. Lodos activos (Alternativa 1)

El sistema de lodos activos se encuentra compuesto por un reactor de mezcla completa con aireación seguido de un sedimentador. El objetivo principal de esta unidad de tratamiento es degradar los compuestos orgánicos solubles mediante este lodo activo el cual tiene la capacidad de sedimentar. En el sedimentador ocurre la separación de fases líquido-sólido. Este último cuenta también con un sistema de purga y reciclo hacia el reactor de mezcla completa. Tanto la purga como la recirculación son dos aspectos claves para mantener al lodo activo que proporcione un correcto funcionamiento del sistema de lodos activos.

Este proceso se basa en el crecimiento biológico de forma suspendida, en conjunto con una mezcla y aireación correspondiente los microorganismos ganan biomasa y se agrupan en flóculos, conformando el lodo activo. El lodo activado al aumentar su tamaño consume, es decir oxida, más materia orgánica presente en el efluente. Luego, en el sedimentador se separa el efluente clarificado dando lugar a la remoción de los lodos por medio de purgas. La mezcla está dada gracias al suministro de aire por medio de difusores y debe ser uniforme en todo el tanque. La aireación cumple un rol fundamental en los sistemas biológicos que cuentan con microorganismos aeróbicos ya que sin oxígeno los mismos no subsisten, además provee una mezcla uniforme del sistema.

El tratamiento biológico por lodos activos presenta ventajas como su alta eficiencia y bajo costo. Su correcto funcionamiento depende de parámetros como la temperatura, el tiempo de retención hidráulica y celular. En la figura 4.7 se observa el diagrama de lodos activos con reciclo y sedimentador secundario (Metcalf & Eddy, 2003)

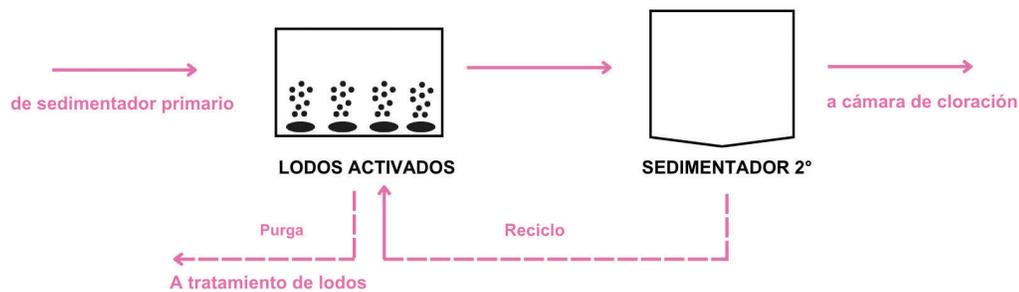


Figura 4.7: Diagrama del sistema de lodos activos con reciclo integrado por un tanque de aireación y sedimentador secundario. Fuente: Elaboración propia.

Específicamente, se ha alcanzado una remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del 93.8%, una reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 93.7%, y una notable eliminación de tensioactivos del 78% . Estos datos fueron obtenidos de un estudio en particular acerca de la eficiencia de remoción de contaminantes en la industria de los detergentes y cosmética con la unión del tratamiento fenton seguido de tratamiento biológico (Carmona 2008) (Adam Muszyński, et al. 2019) (Monterroso, 2018). Es importante destacar que estos resultados son altamente efectivos en la mejora de la calidad del efluente.

4.3.2. MBR (Alternativa 2)

El tratamiento MBR hace referencia a un tratamiento biológico con membranas. Las mismas pueden ser integradas/sumergidas o externas. En el primer modelo, la membrana se encuentra sumergida en el biorreactor, mientras que la externa la membrana se encuentra sumergida en otro tanque ubicado por fuera del reactor biológico. En este caso, se decide utilizar un biorreactor con membranas sumergidas. Esta decisión se basa en que

un MBR con membranas sumergidas ofrece ventajas frente a uno con membranas externas. Algunas de estas son: un menor requerimiento de espacio; menor riesgo de obstrucción y daños mecánicos; mayor eficiencia en la separación de sólidos y una mayor facilidad de operación y control en comparación con las membranas externas (Judd, 2015; Le-Clech, 2010)

Esta confección comprende en un mismo reactor una degradación biológica seguida de una microfiltración, a fin de reducir los posteriores pasos de sedimentación y filtración del efluente. De esta manera, en una única unidad se genera un efluente de calidad. El tratamiento biológico puede ser aeróbico como anaeróbico, en este proyecto se emplean microorganismos aeróbicos. El tamaño de poro de las membranas va desde los 0,1 a 0,4 μm , es esta microfiltración dentro del reactor biológico la que trae aparejada la ventaja de la separación del lodo biológico y la salida del efluente ya clarificado. La configuración del reactor MBR consiste en que las membranas se encuentran sumergidas en el biorreactor como se observa en la figura 4.8. El reactor cuenta con cañerías de ingreso y egreso, soporte para las membranas, cañerías de reciclo y purga. Es importante mencionar que las membranas deben limpiarse periódicamente a partir de la inyección de aire comprimido que se distribuye por la base de la membrana de forma ascendente. Esto proporciona oxígeno para la degradación aeróbica y que la biomasa se desprenda de las membranas.

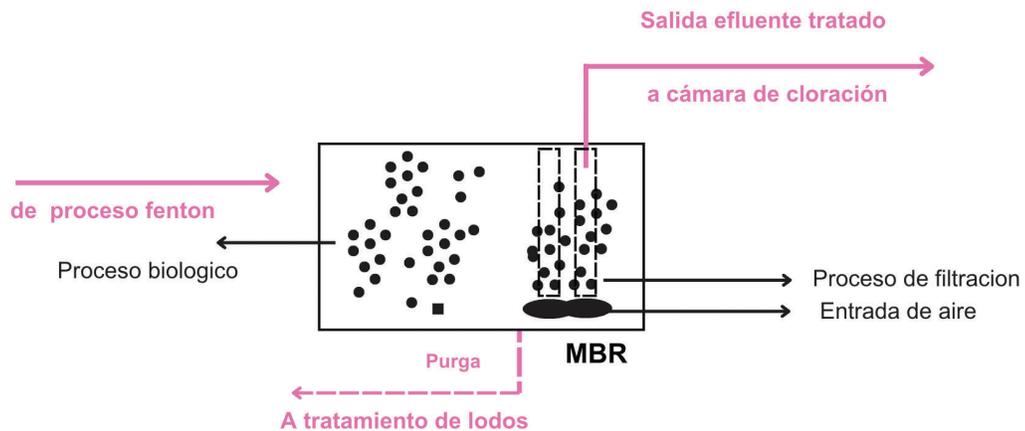


Figura 4.8: Diagrama del sistema MBR. Elaboración propia a partir de fuente CTW

Dentro de las principales ventajas de esta tecnología, como se mencionó anteriormente está la capacidad de eliminar la sedimentación secundaria y operar a

concentraciones más altas de Sólidos Suspendidos en Licor Mezcla (SSLM). Esto conlleva a una reducción en espacio destinado para la construcción de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Además, este tipo de reactor permite operar a cargas orgánicas superiores que otros tratamientos biológicos y produce menos lodos. Pueden operar a concentraciones de fango de entre 10 a 20 g/l, mientras que un tratamiento convencional ronda entre 3 – 4 g/l, lo que permite tratar entre 2,5 a 3 veces más efluente para una misma carga másica aplicada. Esto se traduce en tasas de carga volumétrica superiores y, en consecuencia, tiempos de retención hidráulica del reactor más breves. Por otro lado, se logran Tiempos de Retención de Sólidos (TRS) más prolongados, lo que asegura una disminución en la producción de lodos. (Villamil Martínez, 2012)

Este sistema opera con concentraciones bajas de oxígeno disuelto (OD), lo que potencia la posibilidad de llevar a cabo procesos de nitrificación y desnitrificación de manera simultánea. Como resultado, se obtienen efluentes de alta calidad en cuanto a la presencia de bacterias, baja turbidez, y niveles reducidos de sólidos suspendidos totales (SST) y de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). No obstante, esta tecnología trae aparejadas algunas desventajas como los altos costos de las membranas, escasez de información sobre la vida útil de las mismas, gastos energéticos y la necesidad de limpieza de las membranas.

Según estudios basados en efluentes de industrias similares, la tecnología MBR logra un 98% de remoción en términos de DBO, DQO y del 99% sólidos suspendidos totales, llegando a parámetros de reuso residencial y urbano en España. Por otro lado, demuestran una degradación del 98% para ácidos orgánicos y fragancias utilizadas en dicha industria (Monsalvo, 2014)

4.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es el último tren de tratamientos que sufre el efluente con el fin de conseguir una calidad superior del efluente y asegurarse de eliminar sólidos suspendidos, sustancias remanentes y microorganismos. Los tratamientos más utilizados hoy en día son adsorción por carbón activado, filtros de arena, desinfección, electrólisis, ósmosis inversa y ultrafiltración. Estas tecnologías pueden ser empleadas en conjunto para los distintos fines de la planta de tratamiento de efluentes y las exigencias del cuerpo

receptor. En este caso, se opta por utilizar una desinfección con cloro principalmente para eliminar microorganismos patógenos y otros contaminantes.

4.4.1. Laberinto de cloración

El laberinto de cloración es una tecnología de tratamiento específica de la desinfección con cloro. El cloro es un oxidante fuerte, tiene un alto poder residual y su accesibilidad lo convierte en el método de desinfección más utilizado. El principal objetivo de la desinfección es la eliminación de los organismos capaces de generar enfermedades en el ser humano. Especialmente, en las aguas residuales, los organismos más comunes que pueden resultar problemáticos son las bacterias entéricas, los virus y protozoos. Al entrar en contacto con un oxidante fuerte como lo es el cloro, se logra inhibir el crecimiento de bacterias y algas y su posterior destrucción. Por otro lado, el cloro logra reducir otros parámetros al oxidar a sustancias que producen mal olor y color en el agua residual. Además, en presencia de iones metálicos reducidos, el cloro es capaz de oxidar a los mismos. Cabe destacar que para la alternativa 2, el efluente sale del reactor MBR con concentraciones por debajo del límite para bacterias.

Para este tratamiento se diseñará una cámara de cloración, la cual tiene como objetivo garantizar un tiempo de contacto efectivo para que se dé la desinfección entre el cloro y el efluente salido del tratamiento secundario, para ello tendrá forma laberíntica. Además cuenta con vértices redondeadas para prevenir las áreas sin circulación y deflectores que minimicen cortocircuitos en el flujo. La desinfección con cloro puede realizarse con distintos compuestos de cloro como lo son el cloro en gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl) o el dióxido de cloro (ClO_2), entre otros. Para cualquiera de los casos, el grado de desinfección está dado por la dosis y el tiempo de contacto. Ambas variables juegan un papel importante en la correcta desinfección del efluente. La dosis suele rondar entre los 5 a 20 mg/l (Marín, A., & Osés, M. 2013)

4.5. Tratamiento de lodos

El fin del tratamiento de lodos es mejorar las propiedades del lodo generado en la planta de tratamiento para su posterior utilización o disposición final. Uno de los objetivos

clave de este proceso es reducir tanto el volumen como el peso al deshidratar los lodos. La deshidratación adecuada ofrece beneficios significativos en cuanto al transporte y la posterior disposición de los lodos, ya que al eliminar gran parte del agua, la misma se reintroduce al tratamiento del efluente y reduce los costos asociados con su disposición final.

En la planta de tratamiento de efluentes líquidos se generan lodos en el tratamiento primario como secundario. El lodo primario, es aquel que sale del sedimentador primario, este se caracteriza por ser un fluido denso con gran cantidad de sólidos sedimentables y con un porcentaje de agua que ronda entre el 93% y 97%. Por otro lado, el lodo secundario se produce en el tratamiento secundario de la planta de tratamiento de efluentes líquidos y se caracteriza por contener materia orgánica disuelta y nutrientes presentes en el efluente industrial. Se caracteriza por la interacción de distintos microorganismos, es por esto que se lo llama lodo activo. Este lodo es floculento y contiene biomasa viva como muerta la cual puede contener minerales y otros contaminantes absorbidos (Marín, A., & Osés, M. 2013)

El tratamiento de lodos consta de cuatro etapas, las mismas son la digestión, estabilización, espesamiento y la deshidratación. Para este proyecto se decide centrarse en el espesamiento y la deshidratación. El espesamiento tiene como objetivo reducir el volumen, de manera que sea más sencillo de manipular en los próximos estadios del tratamiento. La deshidratación tiene como fin la extracción de agua que contenga el lodo para formar una masa sólida manipulable. Esto se puede lograr por medio de distintas tecnologías como lo son filtros prensa, de banda y decantadores centrífugos. Para este caso particular se emplea un filtro de bandas como se observa en la figura 4.9. Su principio de funcionamiento parte de la adición de polímero al lodo que circula por dos bandas presionadas por rodillos, lo que provoca la liberación del agua la cual pasa por los huecos de las bandas mientras que los sólidos quedan en la superficie. Luego los lodos siguen su curso hacia una tolva para su envío hacia la disposición final. Los filtros de banda se seleccionan según el ancho de la banda, la misma puede ser de 0,5 m , 1 m , 2m y 3m. Las variables básicas del diseño son la carga de sólidos, la carga hidráulica, el tipo de lodos y el consumo de polímero. Además, suelen ser diseñados para una operación de 8 a 16hs diaria.



Figura 4.9: Instalación de filtros de banda Fuente Marín, A., & Osés, M. 2013

4.6. Cámara de toma de muestra y medición de caudal

La Resolución 607/12 de la Subsecretaría de Ambiente establece la obligación de construir una cámara de muestreo y medición de caudales (CMMMyMC) para todos los establecimientos industriales y especiales definidos en el artículo 2º del Decreto No 674/89. Esta cámara está destinada a facilitar las funciones de supervisión realizadas por la autoridad de aplicación. La CMMMyMC debe estar ubicada en un recinto interno en el terreno, pero con acceso público desde el exterior. La SAyDS tiene la facultad de imponer sanciones a quienes no cumplan con esta regulación. Las especificaciones técnicas para su construcción se encuentran detalladas en el ANEXO II , Figura 1 y 2 se aplican a caudales de hasta 25 m³/h, que son típicos en la generación industrial.

La construcción de esta cámara en el final del proceso de tratamiento es esencial para permitir el monitoreo de los parámetros de vertido tanto por parte de la empresa internamente como por parte de la autoridad reguladora correspondiente.

4.7. Memoria descriptiva

En esta sección, se presentan los diagramas de flujo de dos alternativas para el tratamiento de aguas residuales. La primera opción sigue un enfoque más tradicional, empleando el sistema biológico de lodos activos. Mientras tanto, la segunda alternativa incorpora un tratamiento primario adicional mediante oxidación avanzada, seguido de un tratamiento biológico de membrana (MBR). La alternativa 1 abarca una superficie de 77 m²,

por otro lado, la alternativa 2 ocupa un área de 50 m². Las Figuras 4.10 y 4.11 muestran respectivamente el diagrama de flujo de la alternativa 1 y de la alternativa 2.

Descripción de alternativas de tratamiento

Alternativa 1

Sistema de rejas

El efluente generado en la planta productiva es conducido desde por bombeo a la cabeza de la planta de tratamiento de efluentes, la misma comienza con un desbaste compuesto por un sistema de rejas gruesas manuales. El canal cuenta con un largo de 1,55 m, las rejas se encuentran a 60° y está compuesta por 6 barrotes. Este sistema se diseña por duplicado a fin de poder seguir operando a la hora de realizar limpiezas y mantenimientos en el canal.

Ecuilizador N1

Luego, el efluente es bombeado hacia el tanque circular de ecualización de 30 m³. Su diámetro es de 4 m y cuenta con una profundidad de 2,5m. La altura del efluente dentro de la cámara varía entre 0,5 m y 2,18 m. El propósito de esta unidad es asegurar que el caudal y la carga del efluente sean uniformes. Para ello, se debe garantizar una mezcla homogénea dentro de la cámara por lo que se cuenta con 6 difusores de burbuja gruesa. Una vez equilibrado, el efluente es bombeado desde la cámara de ecualización a la siguiente unidad de tratamiento a un caudal constante de 5,9 m³/h.

Coagulación Floculación

La coagulación es realizada en un coagulador estático de 1,4 m de largo, el mismo fue seleccionado a partir del caudal a tratar y considerando un tiempo de contacto de 7 segundos. Para dicho proceso se adiciona 0,027 l/min de FeCl₃. A continuación el efluente ingresa a la cámara de floculación en donde se adiciona 0,7 kg/min de Cal para elevar el pH a 9 y 0,05 kg/min de Lipesa-1538 como floculante. Dicho tanque fue diseñado con un tiempo de mezcla de 30 minutos, tiene una capacidad de 3 m³ y su altura es de 1,8 m. El mismo se encuentra en agitación por turbinas de flujo axial cuyo diámetro es de 0,51 m y se encuentran a 0,5 m de distancia de la base del tanque.

Sedimentador primario

A continuación del proceso de coagulación-floculación es necesario que el efluente transite por un sedimentador primario, a fin de que los sólidos y flóculos formados en la unidad anterior sedimenten. El sedimentador confeccionado es de geometría circular y tiene una capacidad de 15 m³. Además, cuenta con una altura total de 5 m. La entrada del efluente se da desde el centro del sedimentador por medio de una placa perforada con 30 orificios. La zona de sedimentación posee un diámetro de 2,3 m y la zona de recolección de lodos o tolva posee un diámetro de 0,6 m y un ángulo de 60° a fin de sustituir la utilización de barredores. La zona de salida está compuesta por 8 vertederos con una altura útil de 0,04 m. Los barros son conducidos a presión a un tanque de almacenamiento para luego ser espesados con PAC y deshidratados por medio de un filtro de bandas, posteriormente los barros son retirados por un proveedor para su tratamiento y disposición final.

A partir de este tratamiento primario, que incluye la coagulación, floculación y sedimentación, el efluente incrementa su biodegradabilidad de 0,35 a 0,6 debido a la remoción de sólidos suspendidos totales, detergentes y DQO. De esta manera el efluente demuestra tener una relación DBO/DQO apta para un tratamiento biológico.

Lodos Activos

En esta etapa del tratamiento, se adiciona la corriente cloacal, la misma sufre un pretratamiento compuesto por un desbaste grueso y luego por rejas finas. Al reactor ingresan 216,42 m³/d. Previo al ingreso al reactor, se corrige el pH de 9 a 7 por medio de la adición de 0,26 l/min de HCl, esta corrección se realiza en línea. El reactor de lodos activados tiene una capacidad de 135,7 m³ y su altura es de 5,5 m. Se insufla 67,68 Nm³/h de aire por medio de 42 difusores de burbuja fina. En cuanto a las corrientes de purga y reciclaje las mismas toman un valor de 16,22 m³/d y 183,99 m³/d respectivamente.

Sedimentador Secundario

El ingreso al sedimentador secundario es de 400,4 m³/d. Tiene como objetivo la decantación del lodo biológico. Su volumen es de 77 m³ y el tiempo de permanencia para su diseño es de 3 horas. La entrada del efluente es de 1,23 m de diámetro y cuenta con una placa perforada con 87 orificios. La zona de sedimentación tiene una altura de 3m y la tolva es de 3,75 m. Su salida está compuesta por 10 vertederos de 0,04 m de altura útil. En cuanto al tratamiento del lodo purgado, sufre el mismo tratamiento que el mencionado anteriormente.

Cloración

Para el tratamiento terciario se diseñó una cámara de cloración, la cual tiene como objetivo garantizar un tiempo de contacto efectivo para que se dé la desinfección entre el cloro y el efluente salido del tratamiento secundario, para ello tendrá forma laberíntica. La cámara de cloración confeccionada cuenta con 2 tabiques y 3 espacios. Su volumen es de $8,55 \text{ m}^3$ y una altura de 2 m. Una vez que el efluente transita por esta cámara sigue su camino hacia la cámara de toma de muestra para luego ser liberado al río Luján.

Alternativa 2

La siguiente alternativa, comprende las unidades ya mencionadas como el sistema de rejas, ecualizador, coagulación, floculación, sedimentador primario y cloración. Adicionalmente, cuenta con una unidad más en el tratamiento primario, la misma es una oxidación avanzada tipo fenton. Por otro lado, en cuanto al tratamiento biológico el mismo comprende un reactor biológico de membranas (MBR)

Oxidación Avanzada: Fenton

Para el caso de la alternativa 2, el efluente es tratado por el sistema de rejas, coagulación, floculación y sedimentación antes de su ingreso a la cámara de oxidación avanzada. En primer lugar, se incorporan $0,46 \text{ l/min}$ de HCl para llevar el pH del efluente de 9 a 3.

La incorporación de los reactivos Fenton se lleva a cabo en el tanque de mezcla, siendo estos el sulfato ferroso heptahidratado al 99% ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) con una dosis de 37 g/min y peróxido de hidrógeno (H_2O_2 30 %m/v) con una dosis de $0,144 \text{ l/min}$. El tanque cuenta con una capacidad de 24 m^3 , un diámetro de $3,16 \text{ m}$ y su altura es de 4 m . El mismo fue diseñado con un tiempo de retención de 240 minutos, cuenta con turbinas de flujo axial para la mezcla con un diámetro de 1 m y una velocidad de rotación de 20 rpm .

En este estadio del tratamiento, se produce una oxidación fuerte de componentes que pueden resultar tóxicos o inhibitorios para el tratamiento biológico. Contemplando el tratamiento previo y adicionando esta etapa en el tratamiento primario, el índice de biodegradabilidad aumenta desde $0,35$ a $0,9$ favoreciendo la degradación por parte de los microorganismos de la siguiente etapa.

El barro químico es extraído por bombeo desde la tolva a razón de $0,27 \text{ m}^3/\text{h}$ para dirigirse a un tanque de acopio de barros donde se unifica con el barro biológico. Luego al mismo se le dosifica PAC ($0,18 \text{ m}^3/\text{d}$) para su espesamiento y posterior deshidratación en el filtro de bandas.

Ecuador N2

En el ecualizador N2 ingresa el efluente industrial después de la reacción Fenton. Se ajusta el pH de 3 a 7 por medio de la inyección de NaOH y se dosifica dentro del tanque con una dosis de 0,18 l/min. Paralelamente, se introduce el efluente cloacal después de un tratamiento preliminar que incluye un desbaste grueso seguido de rejillas finas. La mezcla de ambos efluentes se lleva a cabo mediante un agitador de turbina axial. Para garantizar que el pH del efluente mezclado esté dentro del rango óptimo de 6,8 a 7,8, se ha instalado un sensor de pH en línea en la salida del equipo. Además, se ha implementado un sistema de válvulas que permite el retorno del efluente al ecualizador en caso de que se detecte un pH fuera de los límites establecidos, evitando así cualquier posible impacto negativo en el tratamiento biológico subsiguiente. El caudal de salida de dicha unidad es de 216,42 m³/d y el volumen de la cámara es de 40 m³.

MBR

El tratamiento biológico para esta alternativa contempla un reactor biológico de membranas integradas. Esto significa que las membranas se encuentran dentro del reactor biológico. El caudal a tratar por cada cassette de membranas, es de 6,26 m³/h. De esta manera se determinó que se precisan dos cassettes para el tratamiento alcanzando un caudal de tratamiento de 12,5 m³/h. El volumen ocupado por las membranas es 6,5 m³, el mismo fue contemplado a la hora del dimensionamiento del reactor. El volumen del mismo es de 68,75 m³ y su altura 5,5 m. Además, se necesita un inyectar caudal de oxígeno de 925 Nm³/h para abastecer el requerimiento de las membranas y de los microorganismos. El caudal de salida, que se dirige hacia el laberinto de cloración es de 210 m³/d. En cuanto a la purga, en el reactor la misma es de 6,3 m³/d.

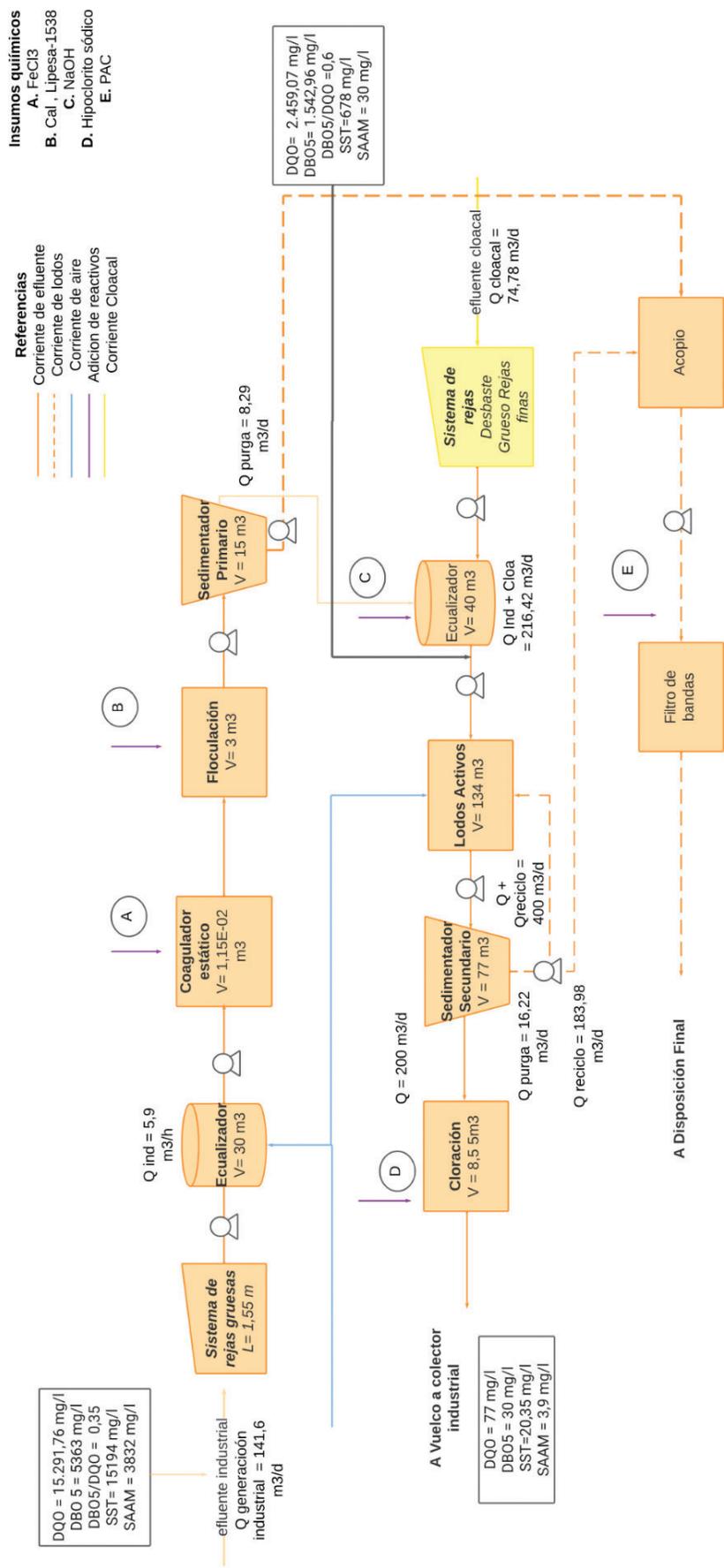


Figura 4.10: Esquema alternativa 1. Fuente: Elaboración propia

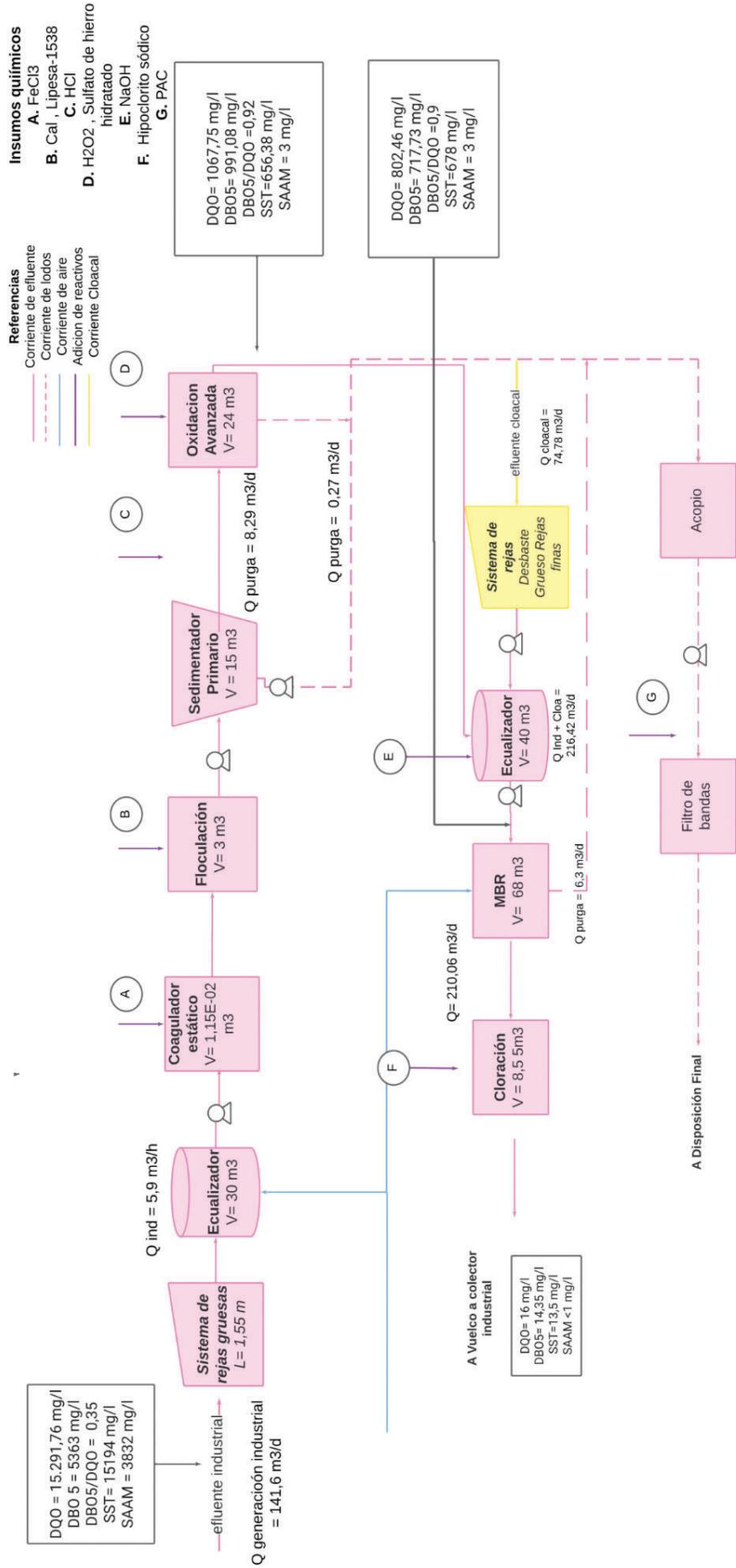


Figura 4.12: Esquema alternativa 2. Fuente: Elaboración propia

5. Memoria de cálculo del diseño de la planta de tratamiento de efluentes

En este apartado, se describe la memoria de cálculo para ambas alternativas. Para realizar estos cálculos, se toman como valores iniciales el caudal de generación del efluente industrial $141,64 \text{ m}^3/\text{día}$, el mismo tiene un pico máximo de $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Además, se genera un caudal cloacal de $74,78 \text{ m}^3/\text{d}$ y su pico es de $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Estos caudales fueron provistos por la empresa y corresponden a una jornada laboral de tres turnos por día de 8 horas, durante 7 días a la semana.

5.1. Pretratamiento

5.1.1. Sistema de rejillas

Ambas corrientes a tratar necesitan de un pretratamiento, el mismo comienza con el sistema de rejillas. Se diseñan a su vez dos canales rectangulares idénticos, a fin de que ante una eventual limpieza de uno de los canales, el efluente pueda ser tratado por el otro. Tanto para la corriente industrial como cloacal se colocan rejillas del tipo gruesas con lavado manual. Además, para la corriente cloacal se adiciona un desbaste fino.

Las variables más importantes para el diseño de las rejillas son la velocidad de paso y la pérdida de carga (h_L). En donde una velocidad superior a la recomendada puede causar un mal funcionamiento de la rejilla y que los sólidos no se retengan en la misma, mientras que, siendo un valor inferior los sólidos podrían sedimentar en el canal antes de atravesar la rejilla. Por otro lado, la pérdida de carga se refiere a la pérdida de presión en el fluido dada por fricción o atascamiento. Si h_L toma un valor por mayor al recomendado, el tirante de pelo de agua luego de pasar la rejilla será muy pequeño a comparación con el pelo de agua antes de atravesar la rejilla (h_v) y en caso de que sea menor indica que hay menos atascamiento.

Ya que la memoria de cálculo es igual para ambos casos, a continuación se desarrolla solo para las rejillas manuales gruesas del efluente industrial. A continuación en la ecuación 5.1. se determina la pérdida de carga h_L

$$h_L = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} h_v \text{sen } \theta_h \text{ (ecuación 5.1)}$$

En donde β es el Factor de forma de la barra, w la Anchura máxima transversal de las barras en dirección de la corriente en [m], b hace referencia a la separación mínima entre barras [m], h_v es la Altura cinética del flujo que se aproxima a la reja [m] y θ es Ángulo/Inclinación de la reja respecto a la horizontal [o].

Además, se determina el área de paso del canal (A_p) mediante la ecuación 5.2, a fin de calcular la altura cinética del flujo (h_v) con la ecuación 5.3.

$$A_p = \frac{Q}{v_a} \text{ (ecuación 5.2)}$$

$$h_v = \frac{A_p}{W_c} \text{ (ecuación 5.3)}$$

Donde Q es el caudal de generación en m^3/s , v_a es la velocidad de acercamiento en m/s y W_c el ancho del canal en m .

Para el diseño se adoptan algunos de los parámetros de la ecuación 5.1 presentes en la tabla 5.1. El factor de forma, representa a una barra rectangular con bordes agudos. Luego el ancho de las barras y la separación entre las mismas toma valores acorde al tipo de rejas gruesas. El ancho de barra oscila entre 0,005 m y 0,015 m mientras que la separación entre las mismas está entre 0,05 y 0,15 m. En el caso de las rejas manuales, se recomienda tener una inclinación con respecto a la vertical de entre 30 grados y 45 grados. En este escenario particular, se opta por el valor mínimo dentro de ese rango, lo que se traduce en una inclinación con respecto a la horizontal de $\theta = 60$ grados.

Tabla 5.1: Valores adoptados para el diseño de rejas gruesas para el efluente industrial.

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Factor de forma	β	2,42	-
Separación entre las barras	b	0,05	m
Ancho de las barras	w	0,015	m
Ángulo con respecto a la horizontal	θ	60	o
Velocidad de aproximación	v_a	0,06	m/s
Ancho del canal	w_c	0,4	m

En cuanto a la ecuación 5.2 y 5.3 el caudal a utilizar es el de la generación industrial es de 0,002 m³/d y para hallar el área de paso se adoptó una velocidad de aproximación, esta para rejas manuales tiene un rango de 0,3 a 0,6 m/s. Al utilizar los valores recomendados y teniendo en cuenta que el ancho del canal debe ser 0,3 m como mínimo se obtienen valores muy bajos para la altura cinética del flujo (h_v) y se traduce, en la ecuación 5.1 en un bajo h_L , esto en parte ocurre dado al bajo caudal que se presenta en el caso de estudio. Debido a esto se decidió tomar un valor de velocidad que se encuentra por debajo del recomendado a fin de obtener un valor acorde de h_v . Sin embargo, al tener un valor menor para la velocidad de aproximación, conlleva a una deposición de residuos en el canal previo a la reja. Esta medida a su vez trae aparejado una limpieza aguas arriba. De esta manera, con las ecuaciones 5.2 y 5.3 se obtiene un área de paso del efluente de 0,027 m² y una altura cinética del flujo (h_v) de 0,068 m. Por otro lado, con la ecuación 5.1 se obtiene un valor de 0,03 m. Este se encuentra dentro del rango recomendado por bibliografía siendo este entre 0,05 y 0,15 m. A su vez, se verifica este valor con el caudal máximo.

Por otro lado, se calculó el número de barras (N_b) y el espacio entre las mismas (N_e) por medio de las ecuaciones 5.4 y 5.5 que se muestran a continuación. Su resultado demuestra que el sistema de barras para el caudal industrial es de 6 barras y por consiguiente 7 espacios.

$$N_b = \frac{W_c - b}{W + b} \text{ (ecuación 5.4)}$$

$$N_e = \frac{W_c + w}{W + b} \text{ (ecuación 5.5)}$$

Además, se desea corroborar los valores adoptados, por lo que a partir de las ecuaciones 5.6 y 5.7 respectivamente se verifican los valores del ancho del canal w_c y velocidad de aproximación .

$$W_c(\text{verificado}) = w * N_b + b * N_e \text{ (ecuación 5.6)}$$

$$v_a(\text{verificado}) = \frac{Q}{W_c * h_v} \text{ (ecuación 5.7)}$$

Asimismo, se determinó el valor de pérdida de carga para cuando las rejas se encuentran obstruidas (h_L 50%). Para ello, se duplicó el valor de h_L obtenido anteriormente, dando como resultado un h_L 50% de 0,058 m. Luego, se calculó mediante la ecuación 5.8, la altura máxima ($H_{MÁX}$), donde se obtuvo un total de 0,126 m. Finalmente, con la ecuación 5.9 se calcula la altura total del canal H_c a partir de la altura cinética del flujo y una cota de seguridad o revancha de 0,5 m. Como resultado la altura del canal toma un valor de 0,6 m.

$$H_{max} = h_{L\ 50\%} + h_v \text{ (ecuación 5.8)}$$

$$H_c = h_v + \text{revancha} \text{ (ecuación 5.9)}$$

Además con las ecuaciones 5.10 y 5.11 se calcula el largo de las barras proyectada (L proyectada) y el largo total del canal.

$$L_{proyectada} = H_c / \tan \theta_h \text{ (ecuación 5.9)}$$

$$L_{Canal} = 10 H_{max} + L_{proyectada} \text{ (ecuación 5.10)}$$

Para el efluente cloacal se diseñó un sistema de rejas gruesas y finas, de la misma manera que para el efluente industrial, adoptando un valor de velocidad de aproximación menor al recomendado debido al bajo caudal que es de 0,001 m³/s. Siguiendo la metodología de cálculo explicado anteriormente se diseñaron las rejas para dicho caudal. A

continuación, en la tabla 5.2.1 se observan los resultados obtenidos para cada parámetro para el efluente industrial, mientras que en la tabla 5.2.2 se observan los parámetros adoptados y calculados para el efluente cloacal. Cabe destacar que para las rejas gruesas, la velocidad de paso tiene como resultado un valor muy por debajo del recomendado para su correcto funcionamiento, es por lo que se decide implementar un canasto de desbaste izable mediante polea. El canasto será confeccionado con la separación entre barras mencionada en la tabla 5.3 y su material será acero inoxidable.

Tabla 5.2 *Parámetros de diseño del sistema de rejas gruesas para el efluente industrial. Fuente: elaboración propia.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal máximo	Q max	m ³ /seg	0,008
Caudal medio	Q medio	m ³ /seg	0,002
Área de paso del efluente	Ap	m ²	0,027
Altura cinética del flujo	Hv	m	0,068
Pérdida de carga	hL	m	0,029
Número de espacio entre barras	Ne	unidad	7
Número de barras	Nb	unidad	6
factor de obstrucción	f	-	0,5
Pérdida de carga al 50%	hL 50%	m	0,058
Altura máxima	Hmax	m	0,126
Largo de la reja proyectado	L proyectada	m	0,328
Altura del canal	Hcanal	m	0,568
Largo total del canal	Lcanal	m	1,511

Tabla 5.2.2 Parámetros de diseño del sistema de rejas gruesas y finas para el efluente Cloacal. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
REJAS GRUESAS			
Caudal Medio	Q med	m ³ /s	0,001
Ancho del canal	Wc	m	0,20
Velocidad de aproximación	va	m/s	0,06
Área de paso del efluente	Ap	m ²	0,01
Pérdida de carga	Hv	m	0,07
factor de forma	beta		2,42
Ángulo con respecto a la horizontal	ángulo reja	grados	60
Ancho de la barra	W	m	0,02
separación entre barras	b	m	0,05
hL	hL	m	0,03
Número de espacio entre barra	n espacios	unidad	4,00
Número de barras	n barras	unidad	3,00
factor de obstrucción	f		0,500
Pérdida de carga al 50%	hL 50%	m	0,061
Altura máxima	Hmax	m	0,133
L proyectada	L proyectada	m	0,330
Altura del canal	Hcanal	m	0,572
Largo total del canal	Lcanal	m	1,552
REJAS FINAS			
Caudal Medio	Q med	m ³ /s	0,0009
Ancho del canal	Wc	m	0,20
Velocidad de aproximación	va	m/seg	0,06
Área de paso del efluente	Ap	m ²	0,0144
Pérdida de carga	Hv	m	0,0721
factor de forma	beta		2,42
Ángulo con respecto a la horizontal	ángulo reja	grados	60,00
Ancho de la barra	W	m	0,0150
separación entre barras	b	m	0,0250
hL	hL	m	0,0765
Número de espacio entre barra	n espacios	unidad	6,00

Número de barras	n barras	unidad	5,00
factor de obstrucción	f		0,50
Pérdida de carga al 50%	hL 50%	m	0,1530
Altura máxima	Hmax	m	0,2251
L proyectada	L proyectada	m	0,3303
Altura del canal	Hcanal	m	0,572
Largo total del canal	Lcanal	m	1,552

A partir de búsqueda bibliográfica, se puede decir que la eficiencia de remoción de SST para las rejas gruesas es del 5%, dando como resultado una concentración de salida de los sólidos suspendidos totales para el efluente industrial de 14.434,30 mg/l.

5.1.2. Tanque Ecuador N 1

En la siguiente sección se describen los cálculos y diseño de cámara de ecualización, en la misma se acumula el efluente después del sistema de rejas. Por otro lado, el efluente cloacal no cuenta con un ecualizador ya que su aporte es mínimo en comparación con el caudal industrial.

La industria de productos para el hogar produce los 7 días de la semana las 24hs. En donde su caudal medio promedio es de 141,6 m³/d como se mencionó anteriormente. Es por esto, que el caudal semanal (Q_{sem}) coincide con el caudal medio. La producción además se realiza en 3 turnos de franja horaria de los cuales se cuenta con los caudales de generación, es decir los caudales de ingreso al ecualizador ($Q_{ingreso}$). Para diseñar la cámara de ecualización, se consideraron los valores de caudal horario para las distintas franjas horarias de un día proporcionado por la industria, según la tabla 5.3. Además, con estos datos se obtuvo el caudal de diseño, es decir el caudal promedio de salida del ecualizador el cual coincide con el caudal promedio horario de 5,9 m³/h.

Tabla 5.3 Valores de caudal horarios para cada franja horaria en una jornada de 24hs de producción.

Hora	Caudal de ingreso m3/h
6 am - 2pm	5,62
2pm - 22pm	7,75
22pm - 6am	4,62

A partir de estos valores utilizando el promedio del caudal diario, se calculó el volumen acumulado en cada franja horaria y el volumen acumulado promedio en cada hora (Anexo III Tabla 1). Restando estos últimos dos valores, se obtuvo el delta de volumen para cada franja horaria, obteniendo así el ΔV_1 y el ΔV_2 (siendo ΔV_1 el ΔV más grande, y ΔV_2 el módulo del volumen más negativo). Con dichos datos, se aplicó la diferencia entre ambas tablas para obtener el volumen mínimo del tanque mediante la ecuación 5.1. Se adoptó un factor de 20% de variación y además una revancha de 50 cm a la altura total para evitar cualquier posible desborde. De esta manera se considera una revancha total del 25%.

$$V_{cc} = (\Delta V_1 + \Delta V_2) * 1,25 \text{ (ecuación 5.11)}$$

En donde:

$$\Delta V_1 = 3 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_2 = - 11 \text{ m}^3$$

Con los valores de volumen acumulado en la cámara de ecualización y los valores correspondientes de volumen acumulado de salida del ecualizador para cada periodo de tiempo, como se detallan en la tabla 1 del anexo III, se genera el gráfico que se presenta en el anexo III, figura 1. El volumen mínimo del tanque es la suma del módulo de los ΔV , dando como resultado 14 m³.

Se utilizará un ecualizador circular, ya que esta geometría asegura una menor cantidad de zonas muertas y, por ende, un mejor mezclado del efluente. Para favorecer la mezcla se decide contar con difusores. Se escogieron los difusores de burbuja gruesa Repicky modelo CB-300, su ficha técnica se encuentra en el Anexo III - figura 2. Para el cálculo del número de difusores se utilizó un requerimiento mínimo de aire (R_{O_2}) de 0,037 m³/m² por minuto para determinar el caudal de aire mínimo que hay que insuflar a través de ellos.

$$Q_{O_2} = R_{O_2} * A_{Ecuizador} \quad \text{(ecuación 5.12)}$$

A fin de garantizar una mezcla homogénea en conjunto con la ecuación 5.12 se obtiene el caudal de oxígeno necesario a proveer por los aireadores en el equalizador. Además, para cumplir con las especificaciones del proveedor se calculó el número de difusores en base al caudal de oxígeno necesario (Q_{O_2}) y el caudal de oxígeno por cada difusor ($Q_{O_2 \text{ Difusor}}$) por medio de la ecuación 5.13. El caudal de oxígeno por difusor, según especificaciones es de 10 Nm³/h. Por último, a partir de la ecuación 5.14 se estimó la densidad de los difusores teóricos por área a airear. y luego con la ecuación 5.15 se obtiene el número de difusores necesarios con una densidad de difusores de 0,5 difusor/m²

$$n \text{ difusores} = \frac{Q_{O_2}}{Q_{O_2 \text{ DIFUSOR}}} \quad \text{(ecuación 5.13)}$$

Para obtener la densidad necesaria de difusores por metro cuadrado, se divide la cantidad de difusores requeridos entre el área total del equalizador, como se indica en la ecuación 5.14. La ficha técnica especifica que el rango óptimo de difusores va desde 0,5 hasta 3 por metro cuadrado. En este caso, se opta por el valor más bajo, dado que se obtiene una densidad teórica menor. Finalmente, se calcula la cantidad real de difusores utilizando la ecuación 5.15.

$$\text{Densidad de difusores} = \frac{n \text{ difusores}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad \text{(ecuación 5.14)}$$

$$n \text{ difusores necesarios} = \text{Densidad de difusores} * A_{Ecuizador} \quad \text{(ecuación 5.15)}$$

Para cumplir con el requisito de oxígeno necesario, se utilizan sopladores compactos de la marca Repicky, específicamente el modelo R100, con una potencia de 1.4 HP, una presión de 400 Mbar y una velocidad de 2250 rpm. (Anexo III - Figura 3)

Continuando, por los requerimientos del difusor seleccionado de tener un tirante mínimo de 90 cm y un tirante máximo de 5,5 m, se determinó un volumen mínimo mojado de 3,8 m³.

Se tomó un volumen inicial de tanque de 14 m³ para corroborar que a lo largo del día no rebalse el tanque (ecuación 5.16). Luego, al volumen acumulado obtenido se le aplicó el mismo cálculo para todas las horas del día.

$$V_{Acumulado} = 14 \text{ m}^3 + Q_{Ingreso} - Q_{Diseño} \quad (\text{ecuación 5.16})$$

De esta manera, se verificó que se alcanza un volumen máximo mojado de 26,57 m³ y mínimo de 11,79 m³. El diseño del tanque debe asegurar que se cumplan tanto los volúmenes máximos como mínimos requeridos para satisfacer las especificaciones del ecualizador. Luego, para el cálculo del tanque a construir se añadió un margen de seguridad a la altura de 0,5 m, dando como resultado un volumen de tanque total de 30 m³ a fin de soportar contingencias.

A continuación en la tabla 5.4 se observan los valores de diseño del ecualizador. Cabe destacar que se escogió una altura de 2,5 metros para la construcción del tanque ya que es necesaria una altura de diseño para dichos difusores se encuentra en el rango de 1 a 6 metros.

Tabla 5.4 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones de la cámara de ecualización previa al tratamiento primario. Fuente: elaboración propia

Parámetros de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal medio	Q _{med}	m ³ /d	141,6
Caudal semanal	Q _{sem}	m ³ /semana	991,4
Días laborables	d	días	7
Caudal de salida del ecualizador	Q _s	m ³ /h	5,9
Requerimiento de aire	R _{O₂}	m ³ O ₂ / (m ² tanque h)	2,22
Caudal de Oxígeno necesario	Q _{O₂}	m ³ O ₂ / h	18,90
Caudal de Oxígeno por difusor	Q _{O₂ difusor}	m ³ /(h difusor)	10,73
Número de difusores	Nd	difusores	5
Densidad de difusores	-	difusores/m ²	0,50
Dimensiones	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen de la cámara	V _{cc}	m ³	30
Altura de la cámara	H	m	2,5
Superficie de la cámara	A _{ecualizador}	m ²	10
Diámetro de la cámara	Ø	m	4

5.2. Tratamiento Primario

5.2.1. Coagulación Floculación

El tratamiento primario comienza con el proceso de coagulación-floculación. Como se mencionó anteriormente, el efluente ingresa a caudal constante de 5,9 m³/h. Dado a la función del pretratamiento compuesto por las rejillas gruesas y la cámara de equalización cuya remoción es de un 5% para SST el efluente ingresa con una concentración 14.434,30 mg/l.

La primera variable a tener en cuenta para el dimensionamiento de la cámara de coagulación es el tiempo de mezcla, el mismo no debe ser superior a los 7 segundos. Se comenzó utilizando el dato del caudal medio en segundos; Q = 0,016 m³/s y se adoptó un tiempo de retención (th) de 7 s. Con ambos datos se calculó el volumen de mezcla (Vm) de la cámara mediante la siguiente ecuación 5.17, por lo que se obtuvo un volumen de 0,011 m³. Este resultado da un volumen inferior a 1 m³, el mismo es muy reducido, es por ello que se opta por llevar a cabo el proceso de coagulación mediante un mezclador estático.

$$V_m = Q \cdot t_m \quad (\text{Ecuación 5.17})$$

Este dispositivo brinda una mezcla entre el efluente y coagulante antes de entrar en la cámara de floculación. Se trata de un equipo que se ajusta según el caudal a tratar y se adquiere de manera personalizada a través del proveedor seleccionado. EATHISA ofrece una variedad de modelos y tamaños, y la información técnica detallada se encuentra en el Anexo IV - Fig. 1. En este caso, el caudal a tratar se ajusta al modelo ME 400, el mismo posee un diámetro de 4 pulgadas. A partir de esta geometría y del tiempo de retención de 7 segundos, se determina la sección del mezclador (Am) como se observa a continuación con la ecuación 5.18. Luego, dividiendo el volumen por el área se calcula el largo (Lm). Con estos valores se confecciona la tabla 5.5 con las dimensiones del coagulador estático y los parámetros de diseño empleados.

$$A_m = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (\text{Ecuación 5.18})$$

Tabla 5.5 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones del coagulador estático.

Fuente: elaboración propia

Parámetros de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /s	1,64E-03
		l/s	1,64
Diámetro del mezclador	Dm	pulgadas	2
		m	0,1016
Tiempo de mezcla	Tm	s	7
Dimensiones coagulador estático	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen	Vm	m ³	1,15E-02
Área del mezclador	Am	m	8,11E-03
Largo del mezclador	Lm	m	1,415045008

Posteriormente se diseña el tanque de floculación, se adopta un tiempo de retención o mezcla (tm) de 30 minutos. Como lo es para el coagulador, el volumen se calculó a partir de la ecuación 5.17.

Para el diseño del tanque se escoge una geometría cilíndrica, el diámetro del tanque (Dt) es equivalente a la altura del pelo de agua de efluente dentro del tanque (H). Por medio de la ecuación 5.19 se calcula el diámetro del tanque, lo que resulta en Dt = H = 1,58 m.

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \quad \text{(Ecuación 5.19)}$$

Igualmente, se adiciona a la altura del tanque una revancha del 20%, como resultado se obtiene una altura del tanque de 1,8 m.

Luego, para el dimensionamiento de la turbina se escoge una turbina de 4 paletas y de flujo axial. El número de potencia k corresponde a 0,75. A continuación se observan las relaciones geométricas entre el tanque y la turbina.

$$1,2 \leq \frac{D_t}{D} \leq 6,6$$

$$2,7 \leq \frac{H}{D} \leq 3,9$$

$$0,9 \leq \frac{h}{D} \leq 1,1$$

Con las ecuaciones 5.20 5.21 y 5.22 se obtienen los valores del diámetro de la turbina (D), la distancia entre la base de la cámara y la parte inferior de la turbina (h), el largo de las paletas desde su eje de simetría vertical hasta su extremo (B), el ancho de las paletas (W) y el largo de los deflectores (l) a instalar en la pared de la cámara para evitar el efecto vórtice.

$$L = \frac{DT}{4} \text{ (Ecuación 5.20)}$$

$$w = \frac{D}{8} \text{ (Ecuación 5.21)}$$

$$B = \frac{D}{4} \text{ (Ecuación 5.22)}$$

Para la determinación de la potencia, se adoptó una frecuencia (n) de 20 rpm. Dado que para la floculación se necesita de una mezcla lenta de modo que se preserve la forma de los flocs y no se rompan. Luego, se obtuvo una potencia mediante la ecuación 5.23. Donde, la densidad del efluente corresponde a 998,2 kg/m³ y el coeficiente de potencia asociada (k) es igual a 0,75 .

$$P = k. \delta. n^3 . D^5 \text{ (Ecuación 5.23)}$$

Con la potencia obtenida, se halló el valor del gradiente (G) mediante la ecuación 5.24 cuyo valor se encuentra dentro del rango recomendado para floculadores mecánicos (10 s⁻¹ ≤ G ≤ 70 s⁻¹). Donde se utilizó la viscosidad del efluente de 1002 x10⁻⁶ Pa/s.

$$G = \sqrt{\frac{p}{\mu.V_{MOJADO}}} \text{ (Ecuación 5.24)}$$

Por último, se obtuvo el valor del parámetro de camp (Gxt) igual a 22.869,91 que se encuentra por encima del límite inferior de 10.000 y por debajo del límite mayor 100.000. Esto se logró tras multiplicar al gradiente por los 30 minutos de tiempo de retención.

Posteriormente, en la tabla 5.6 se observan los parámetros de diseño, valores adoptados y dimensiones del floculador.

Tabla 5.6 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones del floculador. Fuente: elaboración propia

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /s	0,0164
Tiempo de mezcla	tm	min	30
Altura	H	m	1,5
Altura total	Ht	m	1,8
Diámetro del tanque	Dt	m	1,58
Volumen de mezcla	Vm = V	m ³	3
Número de potencia	K	-	0,75
Dt/D		-	3,1
H/D		-	3,5
h/D		-	1,1
Largo de deflectores	L	m	0,40
Ancho de las paletas	W	m	0,06
Distancia entre la base de la cámara y parte inferior de turbinas	h	m	0,56
Diámetro turbinas	D	m	0,51
Largo de las paletas	B	m	0,13

En cuanto al coagulante y floculante escogido son el cloruro férrico y polimérico Lipesa-1538 (copolímero de acrilamida y acrilato de sodio). Se ha demostrado para efluentes similares como lo son en el caso de estudios realizados por Naumczyk et al. (2017), Aboulhassan et al. (2006) y Metin y Çifçi (2023). Para la coagulación se demuestra que la concentración de FeCl₃ a utilizar es de 800 mg/l (Metin y Çifçi 2023)(Aboulhassan,2006). Por otro lado, para la floculación se utilizara Lipesa-1538 en una concentración de 500 mg/l. Además, al efluente cuenta con un pH inicial de 9 se lo lleva, luego con la adición de cloruro férrico como coagulante el mismo disminuye. Mediante la adición de Cal se busca mantener el pH en 9 ya que a mayor pH se comprueba una mejor eficiencia del proceso de remoción de parámetros. De esta manera, se obtiene una eficiencia de remoción de un 65% DQO, un 40% para SST y un 60% para SAAM (Metcalf & Eddy, 2003). Por otro lado, según Aboulhassan (2006) se observa una reducción de hasta un 90% para SAAM con la implementación de FeCl₃ como coagulante. Debido al rango de

eficiencia de remoción para este último parámetro se utilizó un 75%. Dando como resultado DQO salida = 5.084,51 mg/l y SST salida= 9.116,40 mg/l y SAAM salida = 30 mg/l.

5.2.2. Sedimentador Primario

Se diseña a continuación del proceso de coagulación y floculación un sedimentador primario, el mismo cuenta con cuatro zonas diseñadas para un fin en particular. Estas son la zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida y zona de recolección de lodos.

Para el diseño de la zona de sedimentación se comienza adoptando un valor de carga superficial (C_s) que se encuentre dentro del rango de 32 - 48 m^3/m^2 día, establecido para los sedimentadores primarios. El valor adoptado en este caso es de 32 m^3/m^2 día. En conjunto con este valor y el caudal, a partir de la ecuación 5.24 se obtiene el cálculo del área superficial.

$$A_s = \frac{Q}{C_s} \text{ (Ecuación 5.24)}$$

Luego, con la ecuación 5.25 se obtiene el diámetro del sedimentador ya que la geometría del mismo es circular. Por otro lado, se adopta un tiempo de permanencia (T_p) de 2 horas. Dicho valor se encuentra en el rango propuesto por Metcalf & Eddy que es de 1,5 a 2,5 horas. Por medio de la ecuación 5.26 se determina el valor del volumen del cilindro de la zona de sedimentación y a su vez se obtiene la altura de sedimentación (H_s) por medio de la división entre el volumen y el área superficial.

$$D = \sqrt{\frac{4 A_s}{\pi}} \text{ (Ecuación 5.25)}$$

$$T_p = \frac{V_s}{Q} \text{ (Ecuación 5.26)}$$

Por debajo de la zona de sedimentación, se encuentra la zona de recolección de lodos. A esta zona también se la denomina como tolva. La tolva consiste en ser un cono truncado invertido con ángulo exterior (α) de 60 grados. Debido a este ángulo de tolva, no es necesario la instalación de barredores. Esta geometría proporciona un diámetro mayor y uno inferior. Siendo el mayor el mismo diámetro que el de la zona de sedimentación. Por otro lado, el diámetro inferior (D_i) es adoptado tomando un valor de 0,6 m a fin de evitar atascamientos en el proceso. Luego, a partir de la ecuación 5.27 se obtiene el valor de la distancia o diferencia entre los diámetros (k). Este valor permite calcular de una manera más simplificada la altura de la tolva (H_t) por medio de la ecuación 5.28.

$$k = \frac{D_m - D_i}{2} \text{ (Ecuación 5.27)}$$

$$H_t = k \tan(\alpha) \text{ (Ecuación 5.28)}$$

Por último, se calcula el volumen de la tolva a partir de la ecuación 5.29 de volumen de un cono truncado. Donde R: radio mayor, r: radio inferior y H_t: altura de la tolva. Una vez obtenido dicho volumen, se halla el volumen total del sedimentador V_{tot} y la altura total H_{tot} a partir de la suma de los valores hallados para cada sector del sedimentador como se observa en las ecuaciones 5.30 y 5.31

$$V_t = \frac{1}{3} \pi H_t (R^2 + r^2 + Rr) \text{ (Ecuación 5.29)}$$

$$V_{tot} = V_t + V_s \text{ (Ecuación 5.30)}$$

$$H_{tot} = H_t + H_s \text{ (Ecuación 5.31)}$$

A continuación en la tabla 5.7 se detallan los valores de diseño del sedimentador primario.

Tabla 5.7 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones de la zona de sedimentación y la zona de recolección de lodos para el sedimentador primario. Fuente: elaboración propia

Parámetros de diseño		Símbolo	Unidad	Valor
Caudal		Q	m ³ /d	141,64
Carga Superficial		Cs	m ³ /m ² dia	32
Tiempo de permanencia		Tp	h	2
Zona de sedimentación	Área superficial	As	m ²	4,43
	Diámetro	D = Dm	m	2,37
	Altura	Hs	m	3,00
	Volumen	Vs	m ³	12,00
Zona de recolección de lodos	Diámetro mayor	Dm	m	2,37
	Diámetro inferior	Di	m	0,6
	Distancia entre los diámetros	k	m	0,89
	Angulo externo	alfa	°	60
	Altura de la tolva	Ht	m	2
	Volumen de la tolva	Vt	m	3
Dimensiones sedimentador		Símbolo	Unidad	Valor
Volumen sedimentador		Vtot	m ³	15,00
Altura sedimentador		Htot	m	5,00

Para el diseño de la zona de entrada, se eligió un sedimentador con alimentación central. En este sistema, el efluente a tratar es conducido hacia el centro del tanque mediante una tubería central y se introduce en el mismo a través de orificios. La finalidad de la estructura de entrada es lograr una distribución lo más uniforme posible del efluente en toda la sección transversal del decantador. Se busca evitar la formación de chorros que puedan generar corrientes cinéticas en la masa líquida, disipar la energía transportada por el agua y prevenir velocidades elevadas que podrían provocar la dispersión de los lodos en el fondo. En primer lugar se adopta una velocidad de paso (V_p) igual a 0,3 que es la velocidad que toma el efluente al ingresar al tanque con dicho valor y el caudal, se determina el área de paso (A_p) por medio de la ecuación 5.30. Cabe destacar que la velocidad de paso cuenta con un rango óptimo de trabajo que ronda entre los 0,3 - 0,45 m/s.

$$A_p = \frac{Q}{V_p} \text{ (Ecuación 5.30)}$$

En segundo lugar, se adopta el diámetro de entrada (D_e), es decir el diámetro de la cañería por la cual entra el efluente es un 25% del diámetro del sedimentador. Con este diámetro se obtiene el perímetro en el cual se deben posicionar los orificios de entrada del efluente. En tercer lugar, se adopta un diámetro de orificio (D_o), en este caso se utiliza un diámetro de 0,015 m. Con dicho valor se obtiene el área de un orificio (A_o) y a partir de la ecuación 5.31 se establece el número de orificios necesarios para distribuir el efluente en el sedimentador .

$$N_o = \frac{A_p}{A_o} \text{ (Ecuación 5.31)}$$

Estos Orificios se localizan entre los 0,84 m y 3,36 m de altura del sedimentador, permitiendo su disposición en un rango total de 2,5 m. Con la finalidad de evitar posibles cortocircuitos entre los vertederos y el arrastre de lodos, se abstiene de instalar orificios en el primer y último quinto de la altura del sedimentador. Además, se aconseja mantener una separación máxima de 0,50 m entre estos orificios. En cuanto a la separación de los orificios, se decide colocarlos a una distancia horizontal y vertical equidistante de 0,4 m, distribuidos en filas y columnas.

Todos estos parámetros y dimensiones mencionados recientemente para la zona de entrada del sedimentador primario se pueden observar en la tabla 5.8 .

Tabla 5.8 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones de la zona de entrada del sedimentador primario. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de paso	Vp	m/s	0,30
Área de paso	Ap	m ²	0,01
Diámetro orificio	Do	m	0,02
Area orificio	Ao	m ²	4,72E-04
Número de orificios	No	unidad	30,00
Altura de comienzo de orificios	h1	m	0,84
Altura de finalización de orificios	h2	m	3,36
Altura disponible para orificios	deltaH	m	2,52
Separación vertical de orificios	Sv	m	0,42
Separación horizontal de orificios	Sh	m	0,40
Diámetro de entrada	De	m	0,59
Perímetro caño de entrada	Pe	m	1,86
Cantidad de orificios en columnas	C	unidad	5,00
Cantidad de orificios en filas	F	unidad	6,00

Por último, se diseña la salida del efluente tratado hacia la siguiente unidad de tratamiento. El efluente sale a través de vertederos y un canal que recolecta el efluente. Para comenzar con el diseño de los vertederos, se escoge un ángulo de 90 grados y se adopta una altura útil del vertedero de 0,04 m. Luego se le adiciona a esta altura un margen de seguridad de 0,02 m. En primer lugar, con estos datos se calcula el caudal unitario que pasa por cada vertedero a partir de la ecuación 5.32

$$Q_v = 1,34 H_v^{2,47} \text{ (Ecuación 5.32)}$$

Por medio de la ecuación 5.33 se calcula el número de vertederos. Además, se define a la altura del vertedero total a la suma de la revancha (H_v^{tot}). Luego a partir de este valor se calcula el ancho del vertedero como se muestra en la ecuación 5.34.

$$N_v = \frac{Q}{Q_v} \text{ (Ecuación 5.33)}$$

$$W_v = 2 \tan(\theta/2) H_v^{tot} \text{ (Ecuación 5.34)}$$

Seguido de esto, se procede a calcular la longitud útil ocupada por los vertederos (L_v) por medio de la multiplicación del ancho por el número de vertederos y el perímetro del sedimentador (P_s). Con estos valores calculados se obtiene por la ecuación 5.35 el espacio entre vertederos (E_v)

$$E_v = \frac{P_s - L_v}{N_v} \quad \text{(Ecuación 5.35)}$$

Finalizando con el diseño se procede a dimensionar la canaleta o recolector del efluente tratado a partir de una velocidad de 0,02 m/s siendo menor al máximo estipulado de 0,03 m/s. Utilizando la ecuación 5.36 se calcula el área del canal (A_c)

$$A_c = \frac{Q}{V_c} \quad \text{(Ecuación 5.36)}$$

Además, se escoge un ancho del canal (W_c) de 0,3 m con el cual se obtiene por medio de la ecuación 5.37 la altura de la pared interna del canal (h_i) y posteriormente se calcula con la ecuación 5.38 la altura de la pared externa (h_e).

$$h_i = \frac{A_c}{W_c} \quad \text{(Ecuación 5.37)}$$

$$h_e = H_v \text{ tot} + h_i + 0,2m \quad \text{(Ecuación 5.38)}$$

A continuación en la tabla 5.9 se detallan los parámetros para el diseño y las dimensiones de la canaleta de salida y los vertederos del sedimentador primario demostrado en esta sección de la memoria de cálculo.

Tabla 5.9 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones de la zona de salida del sedimentador primario. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo vertedero		rad	0,79
Altura útil del vertedero	Hv	m	0,03
Altura de seguridad	-	m	0,02
Altura total vertedero	Hv tot	m	0,05
Caudal unitario de salida por vertedero	Qv	m ³ /s	2,32E-04
Ancho vertedero	Wv	m	0,12
Perímetro sedimentador	Ps	m	7,46
Cantidad de vertederos		unidad	8,00
Longitud útil de los vertederos	Lv	unidad	0,80
Espacio entre vertederos	Ev	unidad	0,83
velocidad de salida	Vc	m/s	0,02
área canal	Ac	m ²	0,08
Ancho del canal	Wc	m	0,30
altura de pared interna del canal	hi	m	0,27
altura de pared externa canal	he	m	0,53
Pendiente	S	m	0,003

Al concluir el proceso de sedimentación, se logran las siguientes concentraciones de los parámetros a disminuir por medio de las eficiencias de remoción de un 30% para la DQO y DBO, y un 70% para los SST. Resultando en concentraciones finales de 3.559,16 mg/L, 2.252,46 mg/L y 656,38 mg/L, respectivamente.

5.3. Tratamiento secundario: Lodos Activos (Alternativa 1)

5.3.1. Lodos Activos

El diseño de un reactor biológico de lodos activados se basa en un tanque aireado con mezcla completa en presencia de microorganismos. Para ello, se tienen en cuenta algunas consideraciones que se mencionan a continuación:

1. El reactor opera en un estado estacionario, lo que implica que las variables no cambian en función del tiempo.
2. Se asume que el flujo entrante al reactor está libre de microorganismos, por lo tanto, la concentración inicial de microorganismos (X_0) se establece en cero.
3. Dentro del reactor se considera que la mezcla es completa, por lo que la concentración dentro del mismo es igual a la de salida.
4. Dentro del sedimentador secundario se lleva a cabo una buena separación, por lo que la concentración de microorganismos a la salida del mismo (X_s) es igual a cero.
5. La concentración de microorganismos en la purga del sedimentador secundario y el reciclaje son las mismas ($X_p = X_r$).
6. En el sedimentador secundario, no hay degradación de biomasa, por lo tanto, la concentración de sustrato al salir del reactor es equivalente a la concentración final de sustrato (S).

La figura 5.1 muestra un esquema representativo del tratamiento de lodos activos, donde se observa el reactor de muestra completa seguido del sedimentador secundario. En la figura se detallan los caudales de ingreso, recirculación y purga; la concentración de biomasa (X); la concentración de sustrato (S). Para el diseño del tratamiento de lodos activos se plantean 2 volúmenes de control, uno siendo el volumen total del sistema y otro que solo comprende al sedimentador, a fin de realizar balances de masa para el sustrato, biomasa y caudal.

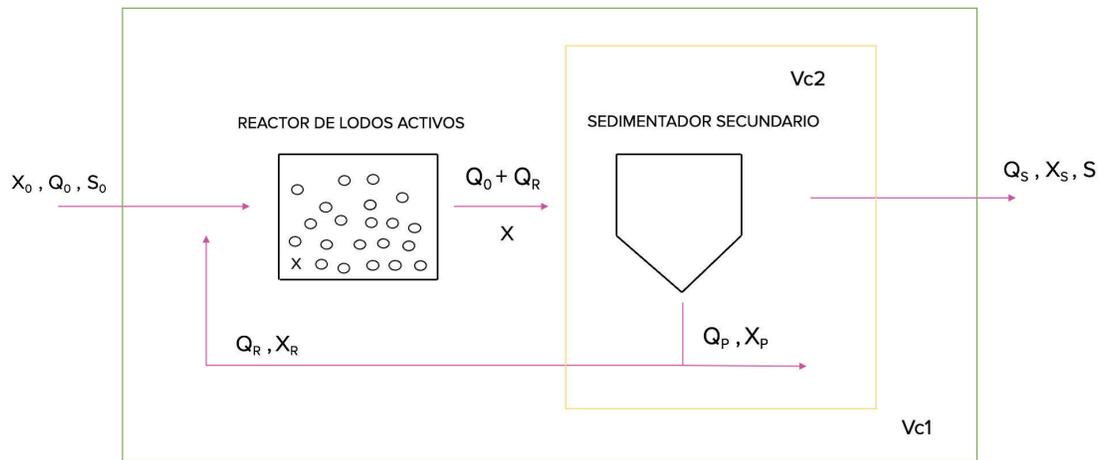


Figura 5.1 Esquema del sistema de lodos activados. Fuente: elaboración propia

En primer lugar, se plantean balances de masas para los microorganismos, sustrato y caudal en el volumen de control que abarca el sistema total. El balance comprende la acumulación, entrada, salida, crecimiento y muerte de los microorganismos. De esta manera se obtiene la ecuación 5.39 (balance de biomasa), 5.40 (balance de sustrato) y 5.41 (balance de caudales)

$$\frac{VdX}{dt} = Q_0X_0 - Q_SX_S - Q_PX_P + Vrx \quad \text{(Ecuación 5.39)}$$

$$\frac{VdS}{dt} = Q_0S_0 - Q_S S - Q_P S - Vrs \quad \text{(Ecuación 5.40)}$$

$$Q_0 = Q_S + Q_P \quad \text{(Ecuación 5.41)}$$

Donde

- V = Volumen del reactor [m³].
- Q₀ = Caudal de entrada al reactor [m³/d]
- X₀ = Concentración inicial de microorganismos [mg/l]
- X_s = Concentración de salida de microorganismos [mg/l]
- S₀ = Concentración inicial de sustrato [mg/l]
- S = Concentración de sustrato en el sistema [mg/l]
- Q_s = Caudal de salida del reactor [m³/d]

- Q_p = Caudal de purga del reactor [m^3/d].
- X_p = Concentración de purga de microorganismos [mg/l]
- r_x = Tasa neta de crecimiento bacteriano [mg/L d]
- r_s = Tasa neta de utilización de sustrato [mg/L d]

Es importante destacar que el sustrato de entrada inicial hace referencia a DBO de salida del sedimentador primario. Este proceso se caracteriza por contar con la presencia de microorganismos por lo que el tratamiento adopta una cinética de reacción de Monod con decaimiento. El modelo cinético empleado incorpora la tasa de crecimiento exponencial, considerando la energía requerida para el mantenimiento celular, así como los procesos de muerte y descomposición endógena. De esta manera en la ecuación 5.42 y 5.43 se detalla r_x y r_s .

$$r_x = \left(\frac{u_{max} X S}{K_s + S} - K_d X \right) \quad \text{(Ecuación 5.42)}$$

$$r_s = \frac{u_{max} X S}{Y(K_s + S)} \quad \text{(Ecuación 5.43)}$$

Donde

- U_{max} = Tasa máxima de crecimiento [1/d] = 1,6
- S = concentración de sustrato en el efluente [mg/l]
- X = concentración de microorganismos en el reactor [mg/l]
- K_s = Constante de saturación media [mg/l] = 80
- K_d = Constante de decaimiento [1/d] = 0,06
- Y = Coeficiente de producción máximo. = 0,6

Cabe destacar que, los parámetros u_{max} , K_s y K_d son variables cinéticas empíricas, por lo que son adoptados en base a rangos consultados en Eckenfelder, W. W. (1999) y Metcalf & Eddy, (2003). La tasa de utilización de sustrato (r_s) que se muestra definida por la ecuación 5.43 se define por la tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos (K), que es el cociente entre la tasa máxima de crecimiento específico (μ_{max}) y el coeficiente de producción máxima (Y). En este caso se adopta $\mu_{max} = 1,6 \text{ d}^{-1}$ e $Y = 0,6$, de modo que $K = 0,9 \text{ d}^{-1}$.

Además, el efluente de ingreso cuenta con el caudal industrial y cloacal. Luego, reemplazando la ecuación 5.41 en la 5.40 y con las consideraciones mencionadas

anteriormente, como el estado estacionario ($dX/dt = 0$), se calcula el volumen de reactor por medio de la ecuación 5.44.

$$V = \frac{Q_0(S_0 - S)}{\frac{u_{max}XS}{Y(K_s + S)}} = \frac{Q_0(S_0 - S)}{\frac{kXS}{K_s + S}} \quad \text{(Ecuación 5.44)}$$

Además, con el valor del volumen ya calculado y la ecuación 5.40 se obtiene el caudal de purga por medio de la ecuación 5.45. Una vez obtenido Q_p calculo Q_s por medio de la ecuación 5.41.

$$Q_p = \left(\frac{u_{max}S}{K_s + S} - K_d \right) \frac{VX}{X_p} \quad \text{(Ecuación 5.45)}$$

Para determinar el Q_r , se hace un balance de masa en el sedimentador secundario. Las suposiciones son estado estacionario ($dX/dt = 0$) y que la estabilización de la materia orgánica se produce únicamente en el reactor, de esta manera se obtiene la ecuación 5.46. Por otro lado, se verifica que la relación Q_r/Q se encuentre entre 0,25 - 1.

$$Q_r = \frac{Q_0X - Q_pX_r}{X_r - X} \quad \text{(Ecuación 5.46)}$$

Donde la concentración de microorganismos en el reactor (X) es adoptada, la misma se debe encontrar en un rango entre 3.000 a 6.000 mg/L, Además, se calcula la concentración de biomasa en la purga y en el reciclo, la cual se estima que es el doble de la concentración en el reactor (Metcalf & Eddy, 2003).

El parámetro F/M se calcula por medio de la ecuación 5.47, este describe la relación entre el alimento y los microorganismos, dicho parámetro ronda entre 0,2 a 0,6 d^{-1} . Por medio de la ecuación 5.48, se calcula el tiempo de medio de residencia de los microorganismos en el sistema, llamado tiempo de retención celular. Dicho tiempo debe encontrarse entre los 5 y 15 días. Estos parámetros hacen referencia a un tipo de proceso aireado (Metcalf & Eddy, 2003). Por último se verifica que la carga volumétrica se encuentre entre 0.8 y 2 kg DBO/ m^3 d con la ecuación 5.50.

$$F/M = \frac{Q_0 S_0}{VX} \text{ (Ecuación 5.47)}$$

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_r X_p} \text{ (Ecuación 5.48)}$$

$$CV = \frac{Q_0 S_0}{V} \text{ (Ecuación 5.49)}$$

Se procede a realizar el dimensionamiento, adoptando una geometría rectangular con una relación largo:ancho es de 2:1. En la tabla 5.10 a continuación se detallan los valores adoptados y calculados en este apartado.

Tabla 5.10 Parámetros empleados para el diseño y dimensiones del reactor de lodos activos.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal inicial	Q ₀	m ³ /d	216,42
Sustrato inicial	S ₀	mg/L	1.542,96
Sustrato Final	S	mg/L	30,00
Biomasa en el reactor	X	mg/L	5.000
Biomasa de reciclo	X _r	mg/L	10.000
Biomasa de purga	X _p	mg/L	10.000
Expresión de tasa neta de crecimiento	r _x	mg/Ld	1.418,18
Tasa de utilización de sustrato	r _s	mg/Ld	2.863,64
Volumen de reactor	V	m ³	114,34
Caudal de purga	Q _p	m ³ /d	16,22
Caudal de salida	Q _s	m ³ /d	200,21
Caudal de reciclo	Q _r	m ³ /d	183,99
Cociente entre caudal de reciclo y de entrada	Q _r /Q ₀	-	0,85
Dimensiones			
Volumen de reactor	V	m ³	135,7
Altura	h	m	5,5

Ancho	w	m	3,50
Largo	L	m	7
Verificaciones			
Tiempo de retención celular	θ_c	días	4
Relación sustrato biomasa	F/M	1/d	0,55
Carga Volumétrica	CV	Kg DBO/m ² d	2
Tiempo de retención hidráulico	θ	horas	12

Se procedió a calcular el sistema de aireación necesario para el reactor de lodos activos. En primer lugar se calcula por medio de la ecuación 5.50 el requerimiento de oxígeno. En donde f es un factor de conversión que toma un valor de 0,65 según Metcalf & Eddy, (2003) y P_x la producción de lodos que se obtiene por la ecuación 5.51.

$$RO \text{ (kgO}_2\text{/d)} = \frac{Q \cdot (S_0 - S) / 1000 \text{ (g/kg)}}{f} - 1,42 \cdot P_x \cdot Q(S_0 - S) / 1000 \text{ (g/kg)} \quad \text{(Ecuación 5.50)}$$

$$P_x = \frac{Y}{1 + \theta_c k_d} \quad \text{(Ecuación 5.51)}$$

Luego, se procede a calcular el requerimiento de oxígeno estándar (SOR) por medio de la ecuación 52.

$$SOR \text{ (kgO}_2\text{/kw h)} = \frac{RO}{\left(\frac{\beta \cdot C_{sat} - C_L}{C_s}\right) \cdot 1,024^{(T-20)} \cdot \alpha} \quad \text{(Ecuación 5.52)}$$

Donde:

- β = Factor de corrección por salinidad y tensión superficial = 1
- C_L = Concentración de OD en condiciones de funcionamiento = 2
- C_s = Concentración de O₂ saturado en agua limpia (20°C, 1 atm) = 9,17
- T = Temperatura del agua [°C] = 18
- α = Factor de conversión de la transferencia de O₂ para agua residual = 0,8

Para dicho cálculo se necesita la concentración de saturación de oxígeno disuelto para el agua residual a una temperatura y altura dada (C_w). Este valor se calcula con la ecuación 5.53. En donde se obtiene de bibliografía el valor de solubilidad para una temperatura promedio de 18°C (Tabla 2.2) y el valor de calibración de los valores de solubilidad por variación de la presión atmosférica en función de la altitud del municipio de Pilar, siendo este de 22 metros sobre el nivel del mar. Los parámetros β , C_L , C_s y α toman valores de bibliografía para un sistema de lodos activados.

$$C_{wat} = \text{valor de solubilidad} * \text{valor calibrado} \quad \text{(Ecuación 5.53)}$$

Se emplean difusores de burbuja fina modelo RG 300 de la marca Repicky (Anexo V - Figura 1) para suplir el requerimiento de oxígeno previamente calculado. Se escoge una densidad de difusores de 1,7 difusor/m² . El SOTE se obtiene del gráfico de transferencia porcentual de O₂ por metro de profundidad (SOTE) en función del caudal de aire por difusor dando como resultado un sote de 6,5%. Por medio de la altura del reactor (h), el área (A), el SOTE, la densidad de difusores y el caudal de diseño (Q_{dis}) se calcula con la ecuación 5.55 el caudal de oxígeno transferido por los difusores (Q_{O_2}). Cabe destacar que 1 Nm³ equivale a 280 gO₂/Nm³.

$$Q_{O_2} = Q_{dis} * SOTE * h * A * \rho_{difusores} \quad \text{(Ecuación 5.54)}$$

Luego, se debe comprar el SOR con el valor obtenido del caudal de oxígeno transferido por los difusores. Donde $Q_{O_2} > SOR$ para que el sistema sea provisto por el caudal de oxígeno necesario.

Además se cuenta con un soplador modelo R200 de la marca Repicky para suministrar el aire necesario por los difusores. Es por ello que se escoge un modelo con una capacidad de suministrar 78 m³/h. En el anexo III figura 3 se presentan sus especificaciones técnicas.

A continuación en la tabla 5.11 se presentan los parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para el cálculo de difusores y sopladores que constituyen el sistema de aireación.

Tabla 5.11 Parámetros empleados para el sistema de aireación del reactor de lodos activos.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Sistema de aireación			
Requerimiento de oxígeno	RO	KgO ₂ / d	163,87
Producción de lodos	Px		0,73
Factor de conversión	f	-	0,65
Requerimiento de Oxígeno Estándar	SOR	kgO ₂ /kW h	11,13
Factor de conversión por salinidad y tensión superficial	B		1,00
Concentración de oxígeno disuelto para el agua residual a T y h= 22 msnm	C _{wat}	mg/l	9,38
Valor de solubilidad a T=18 grados	sol		9,47
Valor calibrado según Altura sobre el nivel del mar = 22 msnm	calib		0,99
Difusores de burbuja fina			
Caudal de oxígeno	QO2	kgO ₂ /h	18,95
		Nm ³ /h	67,68
		m ³ /h	72,61
Caudal de diseño	Qdis	Nm ³ /h	5,00
Número de difusores	Nf	unidad	41
altura	h	m	5,00
área	A	m ²	24,50
SOTE	Sote	%/m	6,50
Soplador repicky Modelo R200			
Caudal de O2 del soplador		m ³ /h	78,10
Presión		mbar	500,00
Potencia		hp	3,80
Velocidad de rotación		rpm	2.800,00

Es importante mencionar que la adopción de parámetros basados en bibliografía puede generar ciertas diferencias en relación con este efluente en específico. Por lo tanto, es recomendable verificar la información mediante ensayos piloto. Además, a los caudales de purga y recirculación se les incluye un margen de 5%, esto es principalmente para tener una flexibilidad en la operación.

En cuanto a los parámetros de salida del reactor de lodos activos se cuenta con una eficiencia de remoción de DBO 98%. Mientras que cuenta con una eficiencia del 95% para la DQO. A partir de este tratamiento, el efluente se dirige hacia la próxima unidad con valores de DQO = 77,15 mg/l y DBO = 30 mg/l.

5.3.2. Sedimentador secundario

Para el diseño del sedimentador secundario se sigue el procedimiento llevado en la sección 5.2.2. Tomando como salvedad los rangos de los parámetros presentados en la tabla 5.12.

Tabla 5.12 Parámetros empleados para el sistema de aireación del reactor de lodos activos.

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango
Carga superficial	Cs	m ³ / m ³ d	8 - 33
Tiempo de permanencia	Tp	h	2 - 4
Diámetro	D	m	3 - 60 m
Carga de sólidos	Csol	Kg SST/m ² h	1 - 5
Altura de sedimentación	Hs	hp	3 - 4,5 m
Altura de zona de lodos	Ht	rpm	3 - 4,5 m

A continuación se obtiene el valor de sólidos suspendidos en el reactor, siendo de 6.250 mg/l esta concentración se obtiene a partir de la ecuación 5.55. Luego, con la ecuación 5.56 se calcula la carga de sólidos. En donde A_s es el área del sedimentador en m², Q_0 es el caudal de ingreso al reactor biológico y Q_r el caudal de reciclaje. La carga de

sólidos debe encontrarse en el rango establecido en la tabla 5.13, el valor hallado es de 4,7 Kg SST/m² h.

$$X_{SST} = \frac{X_{SSLM}}{0,8 \frac{SSV}{SST}} \quad (\text{Ecuación 5.55})$$

$$C_{SOL} = \frac{(Q_o + Q_r) * X_{SST}}{A_s} \quad (\text{Ecuación 5.56})$$

En consiguiente se confecciona la tabla 5.13 en donde se muestran los parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para la zona de sedimentación, lodos, salida y entrada para el sedimentador secundario.

En cuanto a la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales por el sistema de lodos activos con sedimentador secundario es del 97% se obtiene una concentración de salida de SST de 20,35 mg/l.

Tabla 5.13 Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para la zona de sedimentación, lodos, salida y entrada para el sedimentador secundario.

Zona de sedimentación			
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /d	400,41
Caudal Horario	Qh	m ³ /h	16,68
Caudal Segundos	Qs	m ³ /s	4,63E-03
Carga superficial	Cs	m ³ /m ² d	21
Área superficial	As	m ²	22
Diámetro	D	m	5
Tiempo de permanencia	Tp	h	3
Volumen de sedimentación	Vs	m ³	50,05
Altura de sedimentación	Hs	m	3
Zona de lodos (Tolva)			

Geometría	Cono truncado		
Diámetro mayor	Dm	m	5
Diámetro inferior	Di	m	0,60
Distancia entre los diámetros	K	m	2,16
Ángulo externo	alfa	grados	60,00
Ángulo externo	alfa	radianes	1,05
Altura de la tolva	Ht	m	3,75
Volumen de la tolva	Vt	m	27,07
Dimensiones totales del sedimentador			
Volumen total	V tot	m ³	77
Altura total	Htot	m	7
Zona de entrada			
Velocidad de paso	Vp	m/s	0,30
Área de paso	Ap	m ²	0,02
Diámetro orificio	Do	m	0,02
Area orificio	Ao	m ²	1,77E-04
Número de orificios	No	unidad	87,00
Altura de comienzo de orificios	-	m	1,35
Altura de finalización de orificios	-	m	5,40
Altura disponible para orificios (altura neta)	-	m	4,05
Separación vertical de orificios	sv	m	0,51
Separación horizontal de orificio	sh	m	0,35
Diámetro de entrada	De	m	1,23

Perímetro caño de entrada	Pce	m	3,87
Cantidad de orificios en columnas	-	-	11,00
Cantidad de orificios en filas	-	-	8,00
Zona de salida			
Ángulo vertedero	Ángulo vertedero	rad	0,785
Altura útil del vertedero	hv	m	0,04
Altura de seguridad	Altura de seguridad	m	0,02
Altura total vertedero	Avert	m	0,06
Caudal unitario de salida por vertedero	Qv	m ³ /seg	4,72E-04
Ancho	Wv	m	0,12
Perímetro sedimentador	Psed	m	15,48
Cantidad de vertederos	n vert	unidad	10
Longitud útil de los vertederos	Lv	unidad	1,2
Espacio entre vertederos	Ev	unidad	1,43
velocidad de salida	Vc	m/s	0,02
área canal	Ac	m ²	0,232
Ancho del canal	Wc	m	0,3
altura de pared interna del canal	hi	m	0,772
altura de pared externa canal	he	m	1,032
Pendiente	S		0,003

5.4. Tratamiento Primario: Fenton (Alternativa 2)

5.4.1. Fenton

Es en el tratamiento primario en donde las alternativas propuestas para tratar el efluente difieren. En la segunda alternativa se adiciona una etapa de oxidación avanzada. El procedimiento de oxidación avanzada tipo Fenton escogido, emplea peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y hierro en forma de Fe^{2+} . El propósito del mismo es disminuir la concentración de compuestos orgánicos persistentes, tensoactivos y otros elementos resistentes a la descomposición biológica presentes en el efluente industrial.

Para comenzar con el diseño, se determina la concentración necesaria a añadir de H_2O_2 para el tratamiento. La ecuación 5.57, proviene de la relación estequiométrica entre DQO y H_2O_2 (Naumczyk,2013). Para dicho cálculo, se toma en cuenta que la concentración de DQO utilizada corresponde a la de salida del sedimentador primario. Por otro lado, se estima la concentración necesaria de Fe^{2+} con una relación inicial de Fe^{2+}/H_2O_2 de 5%. Cabe destacar que el hierro se dosifica como sulfato ferroso heptahidratado $Fe(SO_4) \cdot 7H_2O$ al 99% (Carmona 2008). El mismo es dosificado por medio de una bomba dosificadora modelo de alto rendimiento QDOS del proveedor Watson Marlow.

$$[H_2O_2] = DQO * 2,125 \text{ (Ecuación 5.57)}$$

De esta manera, se obtiene una concentración de H_2O_2 de 7.563,21 mg/l y para Fe^{2+} de 378,2 mg/l . Se emplea una geometría cilíndrica, cuyos cálculos son análogos a los de la cámara de floculación. Además, se escoge una turbina de 4 paletas y de flujo axial. Para este diseño se toma un tiempo de retención de 4 horas (Metin & Çifçi, 2023). Los valores obtenidos para el diseño se encuentran en la Tabla 5.14.

Según varios autores, el rango óptimo de pH para el tratamiento de este tipo de efluentes mediante el proceso Fenton oscila entre 2 y 6. Para este caso, se decide trabajar con un pH de 3 y un tiempo de retención de 240 minutos. Dado que el caudal de entrada presenta un pH de 9, es necesario ajustarlo mediante la adición de HCl hasta alcanzar el pH óptimo para la reacción. Respecto al caudal de salida del reactor, que exhibe un pH de 3, se requiere ajustarlo a un valor cercano a 7 para el ingreso al tratamiento biológico. El reactor de oxidación avanzada cuenta con bombas dosificadoras de los reactivos y una bomba de extracción de lodos. Además, el efluente antes de dirigirse al tratamiento biológico es recolectado en un equalizador en donde se dosifica la NaOH (base) para llevar a pH 7.

Con las condiciones mencionadas anteriormente (T, pH, tiempo de retención) se alcanza una eficiencia de eliminación del 78-82% para la DQO. Por otro lado se estima una eficiencia del 25% para surfactantes aniónicos, 78-88% para surfactantes y 77 - 83.4% para fragancias (Metin & Çifçi, 2023) (Naumczyk,2013). De esta manera de la unidad descrita el efluente sale con una DQO de 1.067,75 mg/l , DBO de 991,08 mg/l y SAAM de 5,7 mg/l.

Considerando que los surfactantes aniónicos son el componente activo predominante en productos como los detergentes, el tratamiento fenton resulta beneficioso para la descomposición parcial de estos compuestos orgánicos (Naumczyk,2013). Este tratamiento proporciona una índice de biodegradabilidad de 0,9. Este mejoramiento en comparación con el índice previo al tratamiento se debe a la reducción de la proporción de DQO no susceptible a mineralización biológica (Aboulhassan, 2006) (Pliego, 2012)

Tabla 5.14 *Parámetros empleados para el diseño y dimensiones del reactor de oxidación avanzada (Fenton).*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	Rango
Caudal	Q	m ³ /d	141,64	
Caudal Horario	Qh	m ³ /h	5,90	
Tiempo de retención	Tm	min	240	30–240
Altura	H	m	3	
Altura recolección de lodos	Ht	m	0,4	
Altura total			4	
Diámetro del tanque	Dt	m	3,16	
Volumen	V	m ³	23,6	
Volumen real		m ³	24	
Turbina FLUJO AXIAL				
número de potencia	K	-	0,75	
Dt/D			3	1,2-6,6
H/D			3,5	2,7-3,9
h/D			0,9	0,9-1,1
Largo de deflectores	L	m	0,79	
Ancho de las paletas	W	m	0,13	
Distancia entre la base de la cámara y parte inferior de turbinas	h	m	0,95	
Diámetro turbinas	D	m	1,05	

Largo de las paletas	B	m	0,26	
Parámetro de camp	G*t		10.000,00	10.000 - 100.000
Gradiente de velocidad	G	S ⁻¹	41,7	10 - 70

5.5. Tratamiento Secundario: MBR (Alternativa 2)

5.5.1. Tanque Ecuilizador N 2

Para la alternativa 1, el efluente industrial y el cloacal se unifican en una sola corriente en el ecualizador N2 a fin de unificar el caudal y carga de contaminantes.

En el caso la alternativa 2, el efluente al salir del tratamiento de oxidación avanzada es conducido a un tanque de ecualización, allí se regula el pH y se realiza la mezcla con el efluente cloacal. Para ello se confecciona un ecualizador en donde ambas corrientes se mezclan y se conducen por medio de bombeo hacia el respectivo tanque aeróbico.

El tanque contará con un medidor de pH modelo PH-2981 de la marca Yieryi junto con una bomba dosificadora modelo de alto rendimiento DME4 del proveedor Grundfos. Se colocará un mezclador de turbina vertical y de carga superior, modelo HM del proveedor Milton Roy (Anexo IV)

Como se menciona previamente en el proyecto, el efluente cloacal no se somete al tratamiento primario, sino que se mezcla con el efluente industrial antes de ingresar al proceso de tratamiento secundario. Estos efluentes se combinan y homogeneizan en la cámara de ecualización N2. El flujo de salida de esta cámara, que corresponde al flujo de entrada al tratamiento secundario, es de $Q = 216,42 \text{ m}^3/\text{día}$.

Para el diseño de la misma se tomó en cuenta un tiempo de retención de 4 horas y el caudal de ingreso y egreso del mismo. De esta manera se estimó un volumen de 40 m^3 y su altura de 4 m.

5.5.2. MBR

El sistema MBR suele adquirirse como un producto llave en mano, ajustado según los parámetros de tratamiento proporcionados al proveedor. En este contexto, Veolia Argentina produce estas unidades, cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 1 del

anexo V y en la figura 2 del anexo V. Además, en la figura 3 del anexo V se observa un plano con detalle de las membranas.

El sistema MBR contiene membranas agrupadas en módulos y estos se agrupan en cassettes. Dentro del tanque los cassette se ordenan en trenes. Este tratamiento a diferencia de la alternativa 1, comprende en un mismo reactor una degradación biológica seguida de una microfiltración, a fin de reducir los posteriores pasos de sedimentación y filtración del efluente.

Se calculó el volumen ocupado por las membranas a partir del caudal a tratar por cada cassette, el mismo es de 6,26 m³/h (Veolia, 2024). De esta manera se determinó que se precisan dos cassettes para el tratamiento alcanzando un caudal de tratamiento de 12,5 m³/h. Además, por medio de las especificaciones brindadas por el proveedor se determinó el volumen total ocupado por las membranas. Este volumen es de 6,5 m³ que será contemplado a la hora del dimensionamiento del reactor, ya que la tecnología utilizada es de membranas sumergidas en el biorreactor (Tabla 5.15)

Esta integración de tecnologías permite que el sistema de membranas genere un efluente de calidad equivalente en una sola unidad. La capacidad para suprimir la clarificación secundaria y operar a concentraciones más altas de Sólidos Suspendidos en Licor Mezcla (SSLM) ofrece diversas ventajas: permite tasas de carga volumétricas más elevadas y, en consecuencia, tiempos de retención hidráulica del reactor más cortos; prolonga los Tiempos de Retención de Sólidos (TRS), lo que resulta en una menor producción de lodos; permite operar a concentraciones bajas de Oxígeno Disuelto (OD) con potencial para la nitrificación-desnitrificación simultánea; produce efluentes de alta calidad en términos de bacterias, con baja turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y DBO; y requiere menos espacio. Sin embargo, algunas de las desventajas son los elevados costos asociados al reemplazo periódico de las membranas, los mayores costos de energía y la necesidad de controlar la obstrucción de las membranas. Esta obstrucción de las membranas es controlada por medio de limpiezas químicas.

Tabla 5.15 Características del sistema MBR y dimensiones del módulo de membranas.

Fuente: Veolia / Elaboración propia.

Características Sistema MBR		
Parámetro	Unidad	Valor
Módulos por Cassette	unidad	16
Caudal por Cassette	m ³ /h	6,23
Cantidad de Cassettes	unidad	2
Caudal total	m ³ /h	12,5
Módulo de membranas		
Ancho	m	0,738
Largo	m	1,744
Altura	m	2,512
Superficie unitaria	m ²	1,287
Superficie total	m ²	2,574
Volumen módulo	m ³	3,23
Volumen ocupado por membranas	m ³	6,5

5.5.3. Operación del sistema de membranas

Las membranas permiten una salida del efluente con un alto grado de depuración, alcanzando parámetros similares a los de tratamiento terciario. Esto es posible debido a que las mismas actúan como una barrera semipermeable, impidiendo el paso de contaminantes. Luego de un periodo de tiempo determinado deben someterse a una limpieza, la cual puede ser un retrolavado o con agentes químicos.

Dentro de las características de las membranas escogidas, las mismas son de ultrafiltración y microfiltración. Son inertes, no biodegradables, de fácil limpieza y resistentes a agentes químicos y diferencias de presión. Su tamaño de poro es de 0,2 μm con una distribución uniforme. Para el caso de las membranas seleccionadas, según el proveedor

Veolia la tasa de flujo de la membrana se encuentra en un rango entre 0,3 - 0,8 m³/dm², esto indica el caudal de permeado del efluente por la superficie de la membrana.

En la operación diaria del sistema MBR presenta suciedad en las membranas debido a la infiltración de moléculas en el interior de las paredes de la membrana, lo cual reduce el tamaño del poro para la filtración. Existen dos mecanismos de limpieza de los cuales depende el tipo de ensuciamiento. Se puede realizar un retrolavado, es decir únicamente con agua inyectada a presión a flujo contrario de la filtración. Las membranas proporcionadas por Veolia a diferencia de otros proveedores permiten la limpieza de retrolavado con presión, reduciendo el tiempo de lavado de las membranas.

Por otro lado, una limpieza química para retirar la suciedad que se encuentra adsorbida en las paredes de la membrana. Se aplica un retrolavado como el anterior pero con activos químicos, en el caso del ácido cítrico para reducir las calcificaciones mientras que el hipoclorito para barrer grasas y lodo acumulado. La frecuencia de lavado depende del efluente, siendo la recomendada para este caso una vez al mes. Una vez realizada la limpieza química se acopla una limpieza únicamente con agua para terminar de eliminar las incrustaciones y barrer el excedente de químicos. En el anexo V figura 3 se encuentra el esquema de dosificación de químicos y el mecanismo de inyección de los mismos.

5.5.4. Tanque de mezcla y sistema de aireación

En cuanto al tanque de reacción el mismo es diseñado con la metodología aplicada en el capítulo 5.3.1 Alternativa 1 - Lodos Activos. Cabe destacar que existen diferencias en sus parámetros de diseño. Principalmente, en este reactor se encuentra una concentración mayor de microorganismos para este caso, se diseñó el reactor con una concentración de 10.000 mg/L. Por otro lado, el tiempo de retención celular debe encontrarse entre los valores de 5 - 20 días, mientras que, el tiempo de retención hidráulico entre 4 - 6 horas. Además, el efluente a diferencia de la alternativa 1 cuenta con un tratamiento primario que modifica su índice de biodegradabilidad, convirtiéndolo al efluente más biodegradable. Esto se encuentra expresado en la tasa de utilización de sustrato (r_{su}) definida por la ecuación 4.43 que considera la tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos (K), que es el cociente entre la tasa máxima de crecimiento específico (μ_{max}) y el coeficiente de producción máxima (Y). En este caso, al tener un efluente más biodegradable, el valor de K aumenta, donde se adopta $\mu_{max} = 1,3 \text{ d}^{-1}$ e $Y = 0,6$, de modo

que $K = 2,1 \text{ d}^{-1}$ (Metcalf y Eddy, 2003). Las dimensiones del tanque se encuentran en la tabla 5.16

Tabla 5.16 *Parámetros de diseño para el dimensionamiento del tanque, dimensiones del mismo.*
Verificación de parámetros.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal inicial	Q_0	m^3/d	216,42
Sustrato inicial	S_0	mg/L	717,73
Sustrato Final	S	mg/L	14,35
Biomasa en el reactor	X	mg/L	10.000,00
Biomasa de purga	X_p	mg/L	10.000,00
Tasa máxima de crecimiento	u_{max}	$1/\text{d}$	1,30
Constante de saturación media	K_s	mg/L	80,00
Constante de decaimiento	K_d	$1/\text{d}$	0,06
Expresión de tasa neta de crecimiento	r_x	mg/L	1.377,76
Coefficiente de producción máximo	Y	-	0,60
Tasa de utilización de sustrato	r_s	mg/L	3.296,26
tiempo de retención celular	θ_c	días	8,27
relación sustrato biomasa	F/M	$1/\text{d}$	0,34
Carga Volumétrica	CV	$\text{Kg DBO}/\text{m}^2\text{d}$	3,36
Tiempo de retención hidráulico	θ	horas	5,12
Dimensiones			
Volumen de reactor	V	m^3	68,75
Altura	h	m	5,50
Ancho	w	m	2,50
Largo	L	m	5,00

Para determinar el número de cassettes necesarios para el tratamiento se tuvo en cuenta el caudal a tratar por cassette. Luego con los valores constructivos del módulo de membranas se corroboró que los cassettes necesarios para el tratamiento puedan ser emplazados en el tanque.

Respecto al sistema de aireación, las membranas traen consigo acopiados difusores de burbuja gruesa. El sistema de aireación cumple un rol fundamental no solo en la transferencia de oxígeno a las membranas sino que también en la limpieza de las membranas y fomentar la mezcla del efluente. Además, por unidad de cassette se necesita un caudal de oxígeno de 462,5 Nm³/h, en este caso al disponer de dos cassettes es de 925 Nm³/h. Respecto al requerimiento de oxígeno por los microorganismos se calcula de la misma forma que se expuso en la alternativa de lodos activos y luego el caudal de oxígeno a proporcionar. Se verifica que el mismo sea suplido por el requerimiento de las membranas. En otras palabras, el requerimiento de los microorganismos es menor que el requerimiento de las membranas para el desprendimiento del lodo de las mismas y los lavados. El caudal de oxígeno será proporcionado por dos sopladores trabajando como compresor de la marca repicky, específicamente el modelo R1200 de 34,5 HP de potencia y 600 mBar, la ficha técnica se encuentra presente en Anexo III - Figura 2.

En cuanto a las eficiencias de remoción, recordando que los valores de los parámetros de entrada refieren a los de salida del reactor fenton, el sistema MBR cuenta con una eficiencia de 99% para DBO y 98% para DQO. dando como resultado valores finales de 14,35 mg/l y 16 mg/l respectivamente (Martinez,2012). Este procedimiento resulta en un efluente altamente depurado con características de tratamiento terciario, logrando la eliminación total de coliformes, turbidez por debajo de 0,2 NTU y un rango de pH entre 5,8 y 8,6. Además, la eliminación de compuestos nitrogenados mantiene concentraciones de NH₃ por debajo de 1 mg/L y nitrógeno total por debajo de 10 mg/L (Monsalvo, 2014)

5.6. Tratamiento terciario

5.6.1. Laberinto de cloración.

Respecto a la cámara de cloración, la principal diferencia entre las alternativas 1 y 2 es la salida de bacterias (principalmente coliformes) del tratamiento secundario. Para el diseño de la cámara de cloración se estima que el número de coliformes totales corresponde a 10⁷ NMP/100 ml (N₀) a la salida del reactor de lodos activos, mientras que

para el reactor MBR se estima una salida esteril, por lo que la dosificación de cloro debe realizarse a fin de abastecer la legislación de cloro libre. En cuanto a la cámara, se diseña la misma para ambas alternativas.

Se determina a partir de la ecuación 5.58, la concentración de cloro necesaria para desinfectar el agua (C) de manera tal que el número de microorganismos (N) sea menor a 200 NMP/100 ml (N). Para ello, se adopta un tiempo de permanencia de 30 min. Posteriormente, se determina la dosis de cloro en la ecuación 5.59. Cabe destacar que la concentración de cloro no es igual a la concentración residual de cloro de modo que se estima una concentración de 0,5 mg/l lo cual cumple con la legislación. (Anexo VI Figura 1)

$$C = \frac{\left(\frac{N}{N_0}\right)^{-1/3} - 1}{0.23 \cdot t} \text{ (Ecuación 5.58)}$$

$$D Cl = \frac{q \cdot C}{1000} \text{ (Ecuación 5.59)}$$

A continuación, se halla el volumen de la cámara de contacto (V) mediante la ecuación 5.60. Además, se adopta una altura de la cámara de contacto (h) de 1,5 m dentro del rango recomendado entre 1,5 m a 3 m por ENOHSA. A este valor se le suma un 20% de revancha. A partir de este, se calcula el área de la cámara (A) utilizando la ecuación 5.61. A continuación con el área de la cámara y una longitud de la cámara (L) adoptado se calcula el ancho de la cámara (W)

$$V = q \cdot T \text{ (Ecuación 5.60)}$$

$$A = V / h \text{ (Ecuación 5.61)}$$

Luego, se calcula el ancho del canal (c) a partir de la condición mencionada en la ecuación 5.62 también propuesta por ENHOSA. Esta condición establece que la longitud del canal debe ser al menos 40 veces mayor que el ancho del mismo. La longitud del canal (Lc) se corresponde con la longitud de la cámara de contacto (L). El valor obtenido para a fue de 0,1 m fuera del rango esperable en cuanto a términos constructivos y su coeficiente de manning. Debido a esto se modifica la condición y se adopta una relación entre la longitud y la anchura del canal igual a 20.

$$L/c \geq 20 \text{ (Ecuación 5.62)}$$

Por medio de la ecuación 5.63 y 5.64 se calcula el número de tabiques y posteriormente el número de canales. Por último, en la tabla 5.17 se observan las dimensiones obtenidas para la cámara de cloración.

$$N \text{ tabiques} = N \text{ canales} - 1 \text{ (Ecuación 5.63)}$$

$$N \text{ tabiques} = W/c + et \text{ (Ecuación 5.64)}$$

Tabla 5.17 Parámetros de diseño para el dimensionamiento del laberinto de cloración.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Dosis de cloro			
Coliformes Finales	N	NPM/100ML	200
Coliformes Iniciales	No	NPM/100ML	10.000.000
Tiempo de contacto	Tc	min	30
Caudal de salida	Q	m ³ /d	216,42
Concentración de cloro	[Cl]	mg/L	5,19
Dosis de cloro	D Cl	Kg/d	1,04
Dimensiones			
Largo total	L	m	5
Ancho de la cámara	W	m	1
Altura	A	m	2
Volumen	V	m ³	8,55
Ancho del canal	c	m	0,25
Número de canales	Nc	-	3
Número de tabiques	Nt	-	2
Espesor de tabique	Et	m	0,1
Largo del canal	Lc	m	5

5.7. Tratamiento de Lodos

En el siguiente apartado, se procede a calcular el volumen total de lodos generados por la planta de tratamiento de efluentes. Con dicho volumen se calcula el tanque de almacenamiento y se escoge el tipo de maquinaria para la deshidratación. El tratamiento y disposición final de los lodos los realiza el proveedor PTO SA. El tratamiento realizado por el proveedor se basa en acondicionar el lodo de forma tal que se generan fertilizantes para suelos agrícolas.

Para cada unidad se determina la masa de lodos generada a fin de obtener el valor total de lodos producidos en todo el tren de tratamiento. En el caso del pretratamiento, se calculan los residuos atascados en las rejillas a partir de la ecuación 5.65. Para ello, se utiliza el gráfico presente en Anexo VII figura 1 en donde la tasa de residuos recogidos por unidad de caudal de efluente toma un valor de $87,75 \text{ cm}^3/\text{m}^3$, el mismo depende de la separación de las barras del sistema de rejillas, para este caso con 50 mm. Por otro lado, la densidad de residuos se encuentra en el rango de $600 \text{ a } 960 \text{ kg/m}^3$ (Metcalf & Eddy, 2003).

$$\text{Lodo Rejas} = \text{Cantidad de residuos diarios} * \text{Densidad de residuos} \quad \textbf{(Ecuación 5.65)}$$

Luego, los lodos generados en el tratamiento primario provienen del sedimentador primario. Previo a esto, se trata al efluente con una coagulación y floculación, esto indica una mejor separación de sólidos en el sedimentador. Como se mencionó en el capítulo “5.2 Tratamiento primario” la eficiencia del tratamiento para los SST es de un 40% mientras que para el sedimentador primario es de 70%. De forma global el porcentaje de eficiencia de remoción es del 82%. Por medio de la ecuación 5.66 se obtiene la masa de lodo. En donde Q es el caudal diario, SST la concentración de sólidos suspendidos totales en mg/l y %E la eficiencia de remoción. Con la misma ecuación se obtienen los lodos generados en el reactor fenton, el cual sí cuenta con una bomba de extracción de lodos.

$$\text{Masa Lodo} = Q * \text{SST} * \%E \quad \textbf{(Ecuación 5.66)}$$

Una vez obtenida la masa de lodo, se procedió a calcular el volumen por medio de las ecuaciones 5.67 y 5.68. En donde primero se calcula la densidad relativa del lodo (Sl) y luego el volumen del mismo (Metcalf y Eddy, 2003).

$$\frac{1}{S_L} = \frac{P_s}{S_s} + \frac{P_A}{S_A} \quad \textbf{(Ecuación 5.67)}$$

$$V_L = \frac{M_L}{S_L * \delta * P_s} \quad \textbf{(Ecuación 5.68)}$$

En donde:

- Ps: porcentaje de sólidos del lodo en fracción decimal = 0,05
- Pa: porcentaje de agua en fracción decimal = 0,95
- Sa: densidad relativa del agua (Sa)

- Ss: densidad relativa de sólidos = 1,7
- δ : densidad del agua [kg/m³]

En cuanto a los lodos generados en los reactores biológicos se calculan por medio de la ecuación 5.69. En donde Px representa al fango activado purgado; Xp la concentración de biomasa; Qp el caudal de purga. Luego, con el porcentaje de humedad (%H) y la densidad del lodo (ρ) en conjunto con la ecuación 5.70 se determinó el volumen de lodo.

$$Px = Xp * Qp \text{ (Ecuación 5.69)}$$

$$V = \frac{\text{Masa Lodos}}{(1-\%H) \rho} \text{ (Ecuación 5.70)}$$

En la tabla 5.18 se observan los parámetros y resultados obtenidos en el cálculo de la masa de lodo generado en cada etapa del tratamiento.

Tabla 5.18 Parámetros y resultados del tratamiento de lodos.

Parámetros de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Sistema de Rejas			
separación entre barras (b)	b	mm	50
Densidad de residuos		kg/m ³	700
Cantidad de residuos	R	cm ³ /m ³	87,75
Cantidad de residuos diario	R diarios	cm ³ /d	12429,03
Masa del Lodo sistema de rejas	Lodo	kg/d	8,7
Volumen del lodo	VL	m ³ /d	0,052
Coagulación/Floculación + Sedimentador primario			
Sólidos suspendidos	SST	mg/l	3.646,56
Eficiencia de remoción	%E		0,82
Masa de Lodo C/F + Sed	Lodo	kg/d	423,53
Porcentaje de humedad	%H		0,88
Volumen del lodo	VL	m ³ /d	8,29
Fenton			
Sólidos suspendidos	SST	mg/l	656,38
Masa de Lodo Fenton	Lodo	kg/d	55,78
Eficiencia de remoción	%E		0,6
Volumen del lodo	VL	m ³ /d	0,27
Lodos Activos			
Caudal de purga	Qp	m ³ /d	16,22
Concentración de biomasa p	Xp	mg/L	10000
Fango activado purgado	Px	kg/d	162,16
Porcentaje de humedad	%H		0,97

Volumen del lodo	VL	m ³ /d	4,16
MBR			
Caudal de purga	Qp	m ³ /d	6,27
Concentración de biomasa p	Xp	mg/L	10000
Porcentaje de humedad	%H		0,97
Volumen del lodo	VL	m ³ /d	1,23
Fango activado purgado	Px	kg/d	62,75

Al realizar el tratamiento al efluente se generan en total 12,5 m³/d de barro que equivalen a 594 kg/d para la alternativa 1. Por otro lado, para la alternativa 2 , 9 m³/d , es decir 135,5 kg/d. Estos son almacenados y deshidratados en la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Se propone la instalación de dos tanques de 36 m³ del proveedor rotoplas (Anexo VII) para el acopio transitorio de los lodos. Ambos cuentan con mezcladores de paletas con su especificación en el anexo VIII. Para la deshidratación de los lodos se escogió un filtro de bandas, este es un tipo de máquina industrial que se caracteriza por su funcionamiento continuo, alta eficiencia y cuenta con una fácil operación y mantenimiento. El modelo de la máquina a emplear es DNY500 del proveedor Dazhang. (Anexo VII - figura 2). Los lodos ingresan al filtro de bandas por medio de cañerías junto con inyección de PAC (Marín, A., & Osés, M. 2013). Los lodos deshidratados serán acopiados y luego transportados por un camión con batea móvil de 3000 kg que el proveedor retirará con frecuencia de día por medio para la alternativa 1 mientras que para la alternativa 2 será de dos veces por semana.

5.8. Sistema de conducción

El sistema de conducción tiene como objetivo el transporte del efluente y los lodos generados de unidad a unidad en la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Cuenta con cañerías, accesorios y bombas. Se diseña para lograr la menor pérdida de carga del efluente entre las unidades. El mismo puede ser a gravedad o a presión según cada unidad y trayecto a recorrer. Para su diseño se considera que el efluente es un fluido ideal y su flujo es turbulento. Las velocidades recomendadas para dicho fluido se encuentran en la tabla 5.19. Mientras que la pendiente recomendada es del 1 al 3%. El material escogido para las tuberías es el acero inoxidable. Dicho material posee ventajas como su alta resistencia a la

corrosión, alta durabilidad y no requiere procesos para su protección, mientras que su desventaja son los altos costos. Para el sistema de cloración se utilizan tuberías de PVC dado a que los cloruros corroen el acero.

Tabla 5.19. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. Fuente: McCabe et. al., 1998.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad (m/seg)
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,60 - 3,00
	Entrada de bomba	0,30 - 0,90
	Salida de bomba	1,20 - 3,00
	Línea de conducción	1,20 - 2,40
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,06 - 0,15
	Salida de bomba	0,15 - 0,60

Para comenzar con el diseño, se identificaron los tramos de cañería necesarios en la planta de tratamiento de efluentes. La denominación de los tramos consta de 2 o 3 dígitos. El primero indica si el tramo de cañería pertenece a la alternativa 1 o 2. Si no hay ningún número al principio, significa que el tramo es común a ambas alternativas. El segundo dígito es una letra que hace referencia al tipo de tratamiento de manera que: PR (pretratamiento); P (Tratamiento primario); S (Tratamiento secundario); T (Tratamiento terciario) y L (Tratamiento de lodos). Luego, el último corresponde a la numeración específica del tramo dentro de su categoría de tratamiento. En la tabla 5.20 se encuentra la denominación y características de cada tramo.

Tabla 5.20: Denominación, ubicación, tipo de flujo y alternativa de los tramos que forman parte del sistema de conducción de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.

Proceso	Alternativa	Unidad inicial	Unidad final	Denominación	Flujo (a presión / gravedad)
Pretratamiento	1 -2	Sistema de Rejas	Ecuador 1	PR1	Presión
Tratamiento primario	1 -2	Ecuador 1	Cámara de Coagulación-Floculación	P1	Presión
	1 -2	Cámara de Coagulación-Floculación	Sedimentador Primario	P2	Presión
	2	Sedimentador Primario	Cámara Fenton	2P1	Gravedad
	2	Cámara Fenton	Ecuador 2	2P2	Gravedad
Tratamiento Secundario	1	Sedimentador Secundario	Lodos Activos	1S1	Presión
	2	Ecuador 2	MBR	2S1	Presión
Tratamiento de Lodos	1-2	Sedimentador Primario	Tanque de estabilización de lodos	L1	Presión
	2	Cámara Fenton	Tanque de estabilización de lodos	2L1	Presión
	1	Sedimentador Secundario	Tanque de estabilización de lodos	1L1	Presión
	2	MBR	Tanque de estabilización de lodos	2L2	Presión
	1 - 2	Tanque de estabilización de lodos	Filtro de bandas	L2	Presión
Tratamiento Terciario	1	Sedimentador Secundario	Cámara de cloración	1T1	Gravedad
	2	MBR	Cámara de cloración	2T1	Gravedad

5.8.1. Conducción a gravedad y a presión

Para el diseño de las cañerías a gravedad se utilizan las relaciones descritas en las ecuaciones 71 , 72 y 73 que corresponden a cañerías parcialmente llenas.

$$A_m = R^2 (\theta - \text{sen}(\theta)\text{cos}(\theta)) \quad \text{(Ecuación 5.71)}$$

$$P_m = 2R\theta \quad \text{(Ecuación 5.72)}$$

$$R_H = \frac{R^2 (\theta - \text{sen}(\theta)\text{cos}(\theta))}{2R\theta} \quad \text{(Ecuación 5.73)}$$

Donde A_m es el área mojada [m^3], R el radio de la tubería y R_H el radio hidráulico [m], P_m el perímetro mojado [m] y θ el Ángulo desde la superficie de la lámina hasta el centro del tubo [$^\circ$] Además se adopta una relación entre el diámetro y un porcentaje de llenado de la cañería (Y) de 0,75. Esto implica un ángulo de $\theta = 120^\circ$.

Con dichas relaciones y con la ecuación 5.74 se procede a tomar una velocidad 0,15 m/s que se encuentra dentro de la recomendada y se calcula el área mojada. Además, se calcula el radio hidráulico (R_H) y perímetro mojado (P_m) para cada tramo. De esta manera se determinan los diámetros de cañerías expuestos en la tabla 5.21.

$$A_m = \frac{Q}{v} \quad \text{(Ecuación 5.74)}$$

Siendo Q es el caudal en el tramo en [m^3/s] y v la velocidad de flujo en el tramo de cañería en [m.s]

Por último, con la ecuación de Chezy-Manning se verifica la velocidad de escurrimiento en las tuberías por gravedad.

$$v = \frac{1}{n} R_H^{2/3} I^{1/2} \quad \text{(Ecuación 5.75)}$$

En donde v es la velocidad de flujo en la cañería en [m/seg], n hace referencia al coeficiente de Manning tomando un valor de 0,014 para acero inoxidable y 0,011 para el pvc, I la pendiente y R_h el radio hidráulico en [mm]

Tabla 5.21 Parámetros y valores calculados para la pérdida de carga en cada tramo del sistema de conducción

Denominación	Caudal (m3/s)	Área mojada (m2)	Diámetro interno (mm)	Radio Hidraulico (Rm)	Perímetro mojado (m)	Velocidad de escurrimiento (ve)[m/s]	Tipo de Caño
2P1	1,64E-03	6,90E-05	1,05E-02	3,15E-03	2,19E-02	8,41E-01	Sch 10 1/4"
2P2	1,64E-03	6,90E-05	1,05E-02	3,15E-03	2,19E-02	8,41E-01	Sch 10 1/4"
1T1	2,50E-03	1,22E-04	1,39E-02	4,19E-03	2,91E-02	1,02E+00	Sch 10 3/8"
2T1	2,50E-03	1,22E-04	1,39E-02	4,19E-03	2,91E-02	1,02E+00	Sch 10 3/8"
T1	4,63E-03	4,90E-04	2,79E-02	8,41E-03	5,83E-02	1,62E+00	Sch 10 1"

En cuanto a las conducciones a presión se debe tener en cuenta el diámetro interno (DI), el diámetro externo (De) y el diámetro nominal (Dn). La distinción entre ellos radica en que el diámetro interno corresponde al diámetro hidráulico, utilizado para la conducción, mientras que el nominal es una referencia que fluctúa según el material y la presión máxima que la tubería puede soportar. Por ende, es posible encontrar diferentes diámetros internos y espesores vinculados a un mismo diámetro nominal.

En este caso a diferencia de las cañerías por gravedad, se asume que las mismas se encuentran completamente llenas. Por lo tanto, se calcula el diámetro de cada tramo por medio de la ecuación 5.71 y adoptando una velocidad. Después de determinar el diámetro de cada tramo, el siguiente paso es seleccionar las bombas necesarias mediante la formulación de la ecuación generalizada de Bernoulli (Ecuación 5.76). Esto nos permite calcular la altura que la bomba debe proporcionar.

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A}{2g} + Z_A + H_{bomba} - H_{fricción} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B}{2g} + Z_B \quad \text{(Ecuación 5.76)}$$

Siendo $P_{A/B}$ la presión en el punto A o B [bar] ; ρ la densidad del líquido, en [kg/m³] ; g la aceleración de la gravedad que es equivalente a 9,8 m/seg² ; $v_{A/B}$ la velocidad en el punto A o B [m/seg]; $Z_{A/B}$ la altura en el punto A o B [m]; H_{Bomba} la altura requerida por la bomba [m] y $H_{fricción}$ la altura de fricción generada por la pérdida de carga en las cañerías, accesorios y sistemas [m]

Cabe destacar que la pérdida de carga o altura de fricción varía para cada tramo según sus accesorios y tipo de cañería. Para ello, se utiliza la ecuación 5.77, en donde el primer término hace referencia a la fricción de la cañería y el segundo a los accesorios asociados al tramo. En la tabla 5.22 se encuentran los factores de pérdida según el accesorio.

$$H_{fricción} = \frac{4 L f v^2}{2 g D} + \sum \frac{K_{accesorios} v^2}{2 g} \quad \text{(Ecuación 5.77)}$$

En donde f el factor de Fanning ; v la velocidad de fluido [m/s] ; g la aceleración de la gravedad [m/s²] ; L la longitud de cañería en cada tramo [m] ; D el diámetro de la tubería [m] y K_{acc} la sumatoria de los factores de pérdidas de fricción por accesorio.

Tabla 5.22. Factores de pérdidas debidas a la fricción de varios accesorios para tuberías.
Fuente: Fenómenos de transporte UNSAM, 2019.

Accesorio	Kacc
Codo a 90° estándar	0,7
Codo a 90° de radio corto	0,9
Codo a 90° de radio largo	0,4
Codo a 45° estándar	0,35
Válvula antirretorno	2
Tubo en T, conducto con salida lateral	0,4
Tubo en T, conducto recto	1,6

Sin embargo, para determinar $H_{fricción}$ es necesario primero calcular el factor de fanning por medio de la ecuación 5.78 (diagrama de Moody Anexo VIII - Fig. 2) de cada tramo. Además, se estima el número de Reynolds (Re) con la ecuación 5.79. Como se mencionó anteriormente se adopta un régimen turbulento, en donde $Re > 10^5$; $e/D < 0,05$.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,6 \log_{10} \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{e}{3,7D} \right)^{10/9} \right] \text{ (ecuación 5.78)}$$

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} \text{ (ecuación 5.79)}$$

Siendo D el diámetro de la tubería, en m ; v velocidad del fluido en la tubería, en m/seg ; ρ la densidad del fluido tomando 1000 kg/m³ ; u la viscosidad cinemática siendo 10⁻⁶ Pa seg ; e el coeficiente de rugosidad, en ese caso las cañerías son de acero inoxidable y este valor es de 0,0045 mm.

Una vez calculados los parámetros se procedió a obtener el valor de la altura requerida de la bomba. Se seleccionan las bombas según catálogo provisto por el proveedor (Anexo VIII Figura 7 y 8), teniendo en cuenta el caudal a bombear y la altura. Para el caso de las bombas de lodos se escoge el proveedor Eddy Pumps mientras que para los tramos del efluente Grundfos. En la tabla 5.23 se observan los diámetros de cañería y bombas escogidas. Se presentan las especificaciones de las cañerías en la figura 1 del anexo VIII. Para el sistema de conducción de la línea cloacal se procedió de la misma manera y se encuentra expuesto sus resultados en la tabla 5.24.

Tabla 5.23 Parámetros y valores calculados para la pérdida de carga en cada tramo del sistema de conducción

Denominación	Caudal (m ³ /s)	Área mojada (m ²)	Diámetro interno (mm)	Velocidad de escurrimiento (ve)[m/s]	Tipo de Caño	Rugosidad relativa (e/D)	Número de Reynolds (Re)	Número de fanning (f)	Pérdida de carga en tubería y acc (Hf)	altura de la bomba (Hbomba)	Modelo de Bomba	Proveedor
PR1	1,64E-03	1,06E-03	42,20	1,55	Sch 10 1"1/4	1,21E-03	5,57E+07	0,27	10,55	13,12	SEG.40.15.2.50B	Grundfos
P1	1,64E-03	1,06E-03	42,20	1,55	Sch 10 1/4"	1,21E-03	5,57E+07	0,27	13,44	12,74	SEG.40.15.2.50B	Grundfos
P2	1,64E-03	1,06E-03	42,20	1,55	Sch 10 1/4"	1,21E-03	5,57E+07	0,27	14,10	13,30	SEG.40.15.2.50B	Grundfos
2P1	1,64E-03	1,06E-03	42,20	1,55E+00	Sch 10 1/4"	1,21E-03	5,57E+07	0,26	14,10	14,90	SEG.40.15.2.50B	Grundfos
1S1	2,13E-03	1,44E-03	48,30	1,48	Sch 10 2"	6,42E-04	8,38E+07	0,26	5,78	7,08	HD1K	EddyPump
2S1	2,50E-03	1,44E-03	48,30	1,74	Sch 10 1"1/2	9,76E-04	6,88E+07	0,26	13,99	18,99	SEG.40.15.2.50B	Grundfos
L1	9,60E-05	1,06E-03	42,20	0,09	Sch 10 1/4"	1,58E-03	4,26E+06	0,27	0,23	4,23	HD1K	EddyPump
2L1	3,13E-06	2,97E-05	6,35	0,11	Sch 10 1/4"	8,74E-03	7,69E+05	0,31	0,28	4,28	HD1K	EddyPump
1L1	1,88E-04	1,06E-03	42,20	0,18	Sch 10 1/4"	1,13E-03	5,96E+06	0,27	0,16	10,86	HD1K	EddyPump
2L2	7,26E-05	4,70E-04	48,30	1,74	Sch 10 1"1/2	9,76E-04	6,88E+07	0,26	13,99	18,99	HD1K	EddyPump

Tabla 5.23 Parámetros y valores calculados para la pérdida de carga en cada tramo del sistema de conducción de la línea cloacal. C1 representa el tramo desde rejas finas hasta lodos activos para la alternativa 1 y el tramo C2 desde rejas finas hasta el equalizador N2.

Denominación	Caudal (m ³ /s)	Área mojada (m ²)	Diámetro interno (mm)	Velocidad de escurrimiento (ve)[m/s]	Tipo de Caño	Rugosidad relativa (e/D)	Número de Reynolds (Re)	Número de fanning (f)	Pérdida de carga en tubería y acc (Hf)	altura de la bomba (Hbomba)	Modelo de Bomba	Proveedor
C1	8,66E-04	4,70E-04	30	1,84	Sch 10 1/4"	0,002	4,05E+07	0,27	5,30	9,37	SEG.40.15.2.50B	Grundfos
C2	8,66E-04	1,00E+00	30	1,84	Sch 10 1/4"	0,002	4,05E+07	0,27	5,30	7,07	SEG.40.15.2.50B	Grundfos

Se seleccionan bombas sumergibles del proveedor grundfos modelo SEG.40.15.2.50B para el efluente industrial. Este modelo trabaja con caudales de 2 a 16 m³/h y su potencia va desde 0,2 a 2,2 kW dicha bomba puede entregar una altura manométrica de hasta 30 m. Por otro lado, para la conducción de lodos se utiliza una bomba modelo HD1K del proveedor Eddy Pump.

Como se menciona en los apartados anteriores, en el proceso se utilizan diversos agentes químicos para el tratamiento. Para ello se implementan bombas dosificadoras para la inyección de coagulante, floculante (Cloruro férrico, Cal y Lipesa-1538) en la coagulación-floculación, sulfato ferroso heptahidratado, peróxido de hidrógeno, reguladores de pH (HCl y NaOH) en el proceso fenton y pozos de bombeo. Además se cuenta con bombas para la dosificación químicos para la limpieza de las membranas del reactor MBR (llave en mano) y adición de polímero en el tratamiento de lodos. La bomba escogida es el modelo Qdos del proveedor Watson Marlow. En resumen se requiere un total de 16 bombas teniendo en cuenta ambas alternativas de tratamiento. Siendo 7 bombas para la conducción y 6 dosificadoras de reactivos en alternativa 1. Mientras que para la alternativa 2 son 9 bombas para la conducción y 9 dosificadoras de reactivos.

5.8.2. Nivelación de las unidades de la planta de tratamiento

A continuación se esquematiza el nivel de enterramiento de las unidades que conforman al tratamiento de efluentes líquidos para ambas alternativas. El objetivo de este posicionamiento es la practicidad en la operación y el favorecimiento de los trayectos a gravedad.

A partir de la disposición de las unidades, se determinaron las cantidades necesarias de bombas expuestas en la sección anterior y su respectiva ubicación para lograr una conducción total del efluente. En la Figura 5.2 y 5.3 se muestra un esquema de la planta, indicando la altura de cada unidad sobre el nivel del suelo en metros, su profundidad de enterramiento en metros, así como la disposición de las conducciones y las bombas. Es importante destacar que las unidades de tratamiento no están representadas a escala en el esquema.

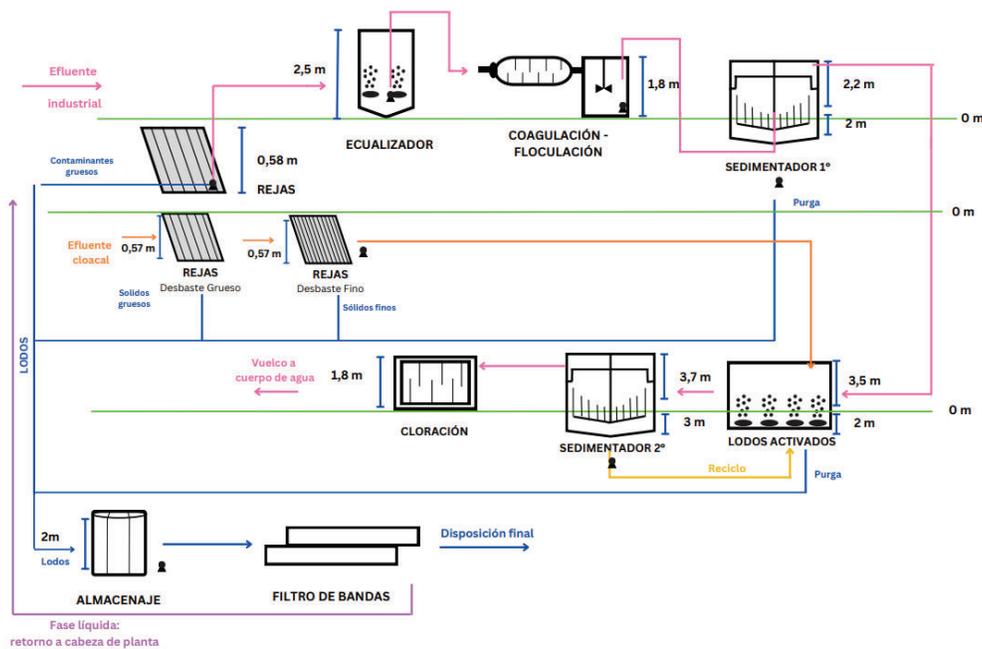


Figura 5.2 : Esquema de niveles de enterramiento y altura sobre el terreno de las diferentes unidades de tratamiento, posición de las bombas y tramos de conducción para la alternativa 1

Fuente: elaboración propia

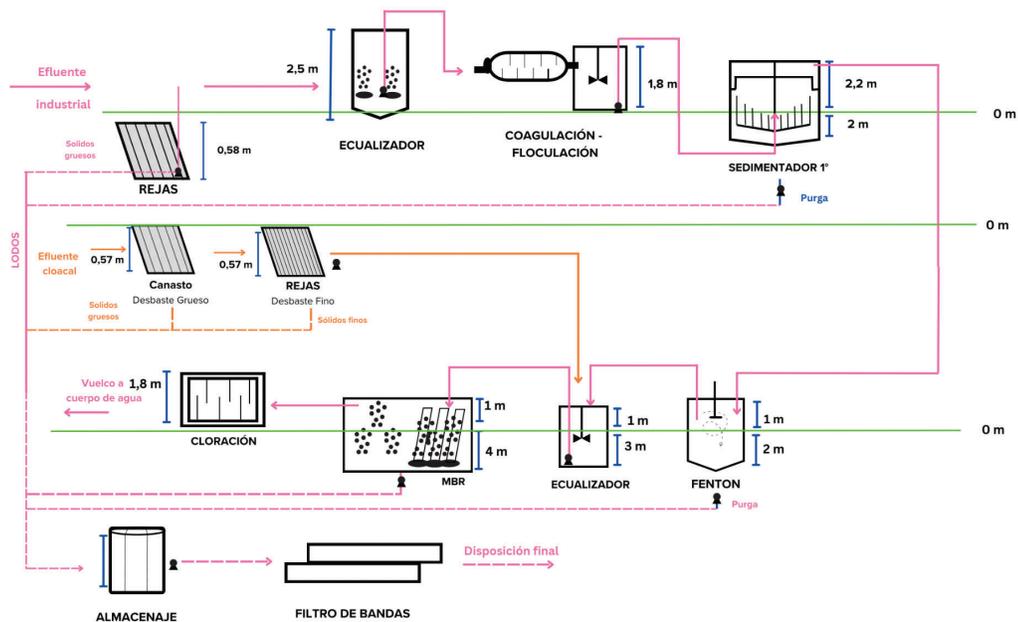


Figura 5.2 : Esquema de niveles de enterramiento y altura sobre el terreno de las diferentes unidades de tratamiento, posición de las bombas y tramos de conducción para la alternativa 2 Fuente: elaboración propia

6. Cómputo y presupuesto

En el siguiente capítulo se describe el cómputo y presupuesto para la planta de tratamiento de efluentes líquidos. En el mismo se detallan los costos de la inversión inicial, operación y mantenimiento y costo total.

6.1. Inversión inicial

La inversión inicial hace referencia al capital que se debe invertir para el emplazamiento y puesta en marcha de la planta de tratamiento. En este costo se incluyen los trabajos preliminares, construcción, trabajadores, materiales, cañerías, bombas y otros accesorios.

El costo de inversión inicial del proyecto para la alternativa 1 es de ARS \$416.859.603,17 Mientras que para la alternativa 2 es de ARS \$462.990.508,24 a la fecha 28 de abril del año 2024 y un valor oficial del dólar estadounidense de US \$876.

En la tabla 6.1 se encuentra el cómputo y presupuesto correspondiente a la inversión inicial del proyecto para la alternativa 1, mientras que en la tabla 6.2 para la alternativa 2.

En cuanto a los costos y cotizaciones se obtuvieron de diversas fuentes. Para los trabajos preliminares y preparación del terreno se contactó al proveedor Enobra S.A. Empresa Constructora. Por otro lado, los honorarios y mano de obra corresponden a valores estimados por la Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina (UOCRA). Para los equipamientos se solicitaron cotizaciones a Vodatec, Repicky S.A, Veolia Water Technologies & Solutions. Respecto a bombas, mezcladores, cañerías y otros accesorios los proveedores son Grundfos, Milton Roy, Watson Marlow, FAMIQ, Rotoplas.

Tabla 6.1 Inversión inicial alternativa 1. Fuente: Elaboración propia

INVERSIÓN INICIAL							
Ítem	Descripción	UN	Cantidad	Costo unitario (peso argentino)	Costo unitario (USD)	Costo parcial (USD)	Total
1	Trabajos preliminares						1.484,02
1.1.	Informe de suelo	unidad	1	1.300.000,00	1.484,02	1.484,02	
2	Preparación del terreno						1.364,05
2.1.	Preparación del terreno	m2	61,88	2.362,25	2,70	166,88	
2.2.	Remoción de cobertura vegetal	m2	61,88	787,42	0,90	55,63	
2.3.	Instalación de obradores y cerco perimetral de obra	gl	1,00	1.000.000,00	1.141,55	1.141,55	
3	Honorarios y mano de obra						250.228,31
3.1.	Permisos de obra y seguros	gl	1,00	500.000,00	570,78	570,78	
3.2.	Dirección de obra	mes	6,00	5.000.000,00	5.707,76	34.246,58	

3.3.	Supervisión de obra	mes	6,00	3.000.000,00	3.424,66	20.547,95	
3.4.	20 Obreros construcción	mes	6,00	12.600.000,00	14.383,56	86.301,37	
3.5.	15 Obreros soldadores	mes	6,00	14.850.000,00	16.952,05	101.712,33	
3.6.	Servicios generales de obra	mes	6,00	1.000.000,00	1.141,55	6.849,32	
4	Excavación y movimiento de suelos						5.497,52
4.1.	Excavación Rejas	m3	1,43	21.000,00	23,97	34,16	
4.2.	Excavación Sedimentador Primario	m3	18,90	21.000,00	23,97	453,08	
4.3.	Excavación Lodos Activos	m3	69,00	21.000,00	23,97	1.654,11	
4.4.	Excavación Sedimentador secundario	m3	140,00	21.000,00	23,97	3.356,16	
5	Pretratamiento						9.272,07
5.1.	Herrería rejas gruesas de 7 varillas rectangular con bordes agudos a 45°	unidad	1,00	800.000,00	913,24	913,24	
5.2.	Herrería rejas finas de 5 varillas rectangular con bordes agudos a 45°	unidad	1,00	800.000,00	913,24	913,24	
5.3.	Herrería canasto y rastrillo	unidad	2,00	400.000,00	456,62	913,24	
5.4.	Hormigón rejas industrial	m3	0,93	382.520,00	436,67	405,01	
5.5.	Hormigón rejas cloacal	m3	1,36	382.520,00	436,67	593,95	

5.6.	Hormigón ecualizador	m3	12,42	382.520,00	436,67	5.425,49	
5.7.	Soplador Repicky modelo R100 1.4 HP	unidad	2,00	34.760,00	39,68	79,36	
5.8.	Difusores Repicky modelo CB300	unidad	5,00	5.000,00	5,71	28,54	

6	Tratamiento primario						111.799,18
6.1.	Coagulador estático	unidad	1,00	80.580.000,00	94.800,00	94.800,00	
6.2.	Hormigón Floculador	m3	3,28	382.520,00	436,67	1.432,44	
6.3.	Mezclador HM Milton Roy Floculador	unidad	1,00	979.600,00	1.118,26	1.118,26	
6.4.	Bombas dosificadora Qdos Watson Marlow	unidad	3,00	120.000,00	136,99	410,96	
6.5.	Hormigón sedimentador primario	m3	32,15	382.520,00	436,67	14.037,51	
7	Tratamiento secundario						60.797,76
7.1.	Hormigón lodos activos	m3	82,30	382.520,00	436,67	35.937,23	
7.2.	Difusores Repicky modelo RG300	unidad	41,00	28.000,00	31,96	1.310,50	
7.3.	Soplador Repicky modelo R200	unidad	2,00	3.000.000,00	3.424,66	6.849,32	
7.4.	Hormigón sedimentador secundario	m3	38,25	382.520,00	436,67	16.700,71	
8	Tratamiento terciario						6.509,14
8.1.	Hormigón cámara	m3	6,75	382.520,00	436,67	2.947,50	

	de cloración						
8.2.	Bomba dosificadora de cloro con tanque de reservorio	unidad	2,00	560.000,00	639,27	1.278,54	
8.3.	Cámara de aforo y toma de muestra según Res. 607/12	unidad	1,00	2.000.000,00	2.283,11	2.283,11	
9	Tratamiento de lodos						12.990,41
9.1.	Filtro de banda DNY500	unidad	1,00	8.432.191,61	9.625,79	9.625,79	
9.2.	Tanque de acopio de lodos	unidad	2,00	5.000.000,00	5.707,76	11.415,53	
9.3.	Mezclador HM Milton Roy Floculador	unidad	1,00	979.600,00	1.118,26	1.118,26	
9.4.	Tanque polímero	unidad	1,00	400.000,00	456,62	456,62	
10	Sistema de conducción e impulsión						8.219,18
10.1.	Bomba Grundfos SEG40.15.2.50B	unidad	4,00	850.000,00	970,32	3.881,28	
10.2.	Bomba Eddy Pump Heavy Duty Slurry Pump -1-Inch	unidad	4,00	400.000,00	456,62	1.826,48	
10.3.	Codo a 90° estándar	unidad	17,00	15.000,00	17,12	291,10	
10.4.	Válvula antirretorno	unidad	14,00	45.000,00	51,37	719,18	
10.5.	Tubo T con salida lateral	unidad	7,00	23.000,00	26,26	183,79	
10.6.	Cañería Inxoste Sch10 1/4"	m	19,80	30.000,00	34,25	678,08	
10.7.	Cañería Inxoste Sch 10 1"1/2	m	5,00	100.000,00	114,16	570,78	
10.8.	Cañería Inxoste Sch 10 1"1/4	m	3,00	20.000,00	22,83	68,49	

11	Infraestructura						7.705,48
11.1	Asfaltado de caminos	gl	1,00	2.000.000,00	2.283,11	2.283,11	
11.2	Luminaria de caminos	gl	1,00	1.000.000,00	1.141,55	1.141,55	
11.3	Sala de operarios	gl	1,00	2.500.000,00	2.853,88	2.853,88	
11.4	Provisión y montaje de tablero eléctrico	unidad	5,00	250.000,00	285,39	1.426,94	
Total USD							475.867,13
Total ARS							416.859.603,17

Tabla 6.2 Inversión inicial alternativa 2. Elaboración propia

INVERSIÓN INICIAL							
Ítem	Descripción	UN	Cantidad	Costo unitario (peso argentino)	Costo unitario (USD)	Costo parcial (USD)	Total
1	Trabajos preliminares						1.484,02
1.1.	Informe de suelo	unidad	1	1.300.000,00	1.484,02	1.484,02	
2	Preparación del terreno						1.364,05
2.1.	Preparación del terreno	m2	61,88	2.362,25	2,70	166,88	
2.2.	Remoción de cobertura vegetal	m2	61,88	787,42	0,90	55,63	
2.3.	Instalación de obradores, cartelería y cerco perimetral de obra	gl	1,00	1.000.000,00	1.141,55	1.141,55	
3	Honorarios y mano de obra						250.228,31
3.1.	Permisos de obra y seguros	gl	1,00	500.000,00	570,78	570,78	
3.2.	Dirección de obra	mes	6,00	5.000.000,00	5.707,76	34.246,58	
3.3.	Supervisión de obra	mes	6,00	3.000.000,00	3.424,66	20.547,95	
3.4.	20 Obreros construcción	mes	6,00	12.600.000,00	14.383,56	86.301,37	
3.5.	15 Obreros soldadores	mes	6,00	14.850.000,00	16.952,05	101.712,33	
3.6.	Servicios generales de obra	mes	6,00	1.000.000,00	1.141,55	6.849,32	
4	Excavación y movimiento de suelos						4.065,88
4.1.	Excavación Rejas	m3	1,43	21.000,00	23,97	34,16	
4.2.	Excavación Sedimentador Primario	m3	18,90	21.000,00	23,97	453,08	

4.3.	Excavación MBR	m3	69,00	21.000,00	23,97	1.654,11	
4.4.	Excavación Sedimentador secundario	m3	16,20	21.000,00	23,97	388,36	
4.5.	Excavación Ecuilizador N2	m3	36,00	21.000,00	23,97	863,01	
4.6.	Excavacion Fenton	m3	28,08	21.000,00	23,97	673,15	
5	Pretratamiento						9.272,07
5.1.	Herrería rejas gruesas de 7 varillas rectangular con bordes agudos a 45°	unidad	1,00	800.000,00	913,24	913,24	
5.2.	Herrería rejas finas de 5 varillas rectangular con bordes agudos a 45°	unidad	1,00	800.000,00	913,24	913,24	
5.3.	Herrería canasto y rastrillo	unidad	2,00	400.000,00	456,62	913,24	
5.4.	Hormigón rejas industrial	m3	0,93	382.520,00	436,67	405,01	
5.5.	Hormigón rejas cloacal	m3	1,36	382.520,00	436,67	593,95	
5.6.	Hormigón ecuilizador	m3	12,42	382.520,00	436,67	5.425,49	
5.7.	Soplador Repicky modelo R100 1.4 HP	unidad	2,00	34.760,00	39,68	79,36	
5.8.	Difusores Repicky modelo CB300	unidad	5,00	5.000,00	5,71	28,54	

6	Tratamiento primario						124.357,97
6.1.	Coagulador estático	unidad	1,00	80.580.000,00	94.800,00	94.800,00	
6.2.	Hormigón Floculador	m3	3,28	382.520,00	436,67	1.432,44	
6.3.	Mezclador HM Milton	unidad	4,00	979.600,00	1.118,26	4.473,06	

	Roy						
6.4.	Bombas dosificadora Qdos Watson Marlow	unidad	4,00	120.000,00	136,99	547,95	
6.5.	Hormigón sedimentador primario	m3	32,15	382.520,00	436,67	14.037,51	
6.7.	Hormigon Fenton	m3	7,70	382.520,00	436,67	3.362,69	
6.8.	Pintura anti corrosiva	l	48,00	2.257,95	2,58	123,72	
6.9.	Hormigón Ecu2	m3	12,78	382.520,00	436,67	5.580,60	
7	Tratamiento secundario						90.141,75
7.1.	Hormigón MBR	m3	31,55	382.520,00	436,67	13.776,75	
7.2.	Sistema MBR con dos Cassettes	m3	2,00	33.447.870,00	38.182,50	76.365,00	
8	Tratamiento terciario						6.509,14
8.1.	Hormigón cámara de cloración	m3	6,75	382.520,00	436,67	2.947,50	
8.2.	Bomba dosificadora de cloro con tanque de reservorio	unidad	2,00	560.000,00	639,27	1.278,54	
8.3.	Cámara de aforo y toma de muestra según Res. 607/12	unidad	1,00	2.000.000,00	2.283,11	2.283,11	
9	Tratamiento de lodos						22.616,20
9.1.	Filtro de banda DNY500	unidad	1,00	8.432.191,61	9.625,79	9.625,79	
9.2.	Tanque de acopio de lodos	unidad	2,00	5.000.000,00	5.707,76	11.415,53	
9.3.	Mezclador HM Milton Roy Floculador	unidad	1,00	979.600,00	1.118,26	1.118,26	
9.4.	Tanque polímero	unidad	1,00	400.000,00	456,62	456,62	
10	Sistema de conducción e impulsión						10.783,11
10.1.	Bomba Grundfos	unidad	6,00	850.000,00	970,32	5.821,92	

	SEG40.15.2.50B						
10.2.	Bomba Eddy Pump Heavy Duty Slurry Pump -1-Inch	unidad	4,00	400.000,00	456,62	1.826,48	
10.3.	Codo a 90° estándar	unidad	25,00	15.000,00	17,12	428,08	
10.4.	Válvula antirretorno	unidad	18,00	45.000,00	51,37	924,66	
10.5.	Tubo T con salida lateral	unidad	7,00	23.000,00	26,26	183,79	
10.6.	Cañería Inoxoeste Sch10 1/4"	m	28,00	30.000,00	34,25	958,90	
10.7.	Cañería Inoxoeste Sch10 2"	m	5,00	100.000,00	114,16	570,78	
10.8.	Cañería Inoxoeste Sch 10 1"1/4	m	3,00	20.000,00	22,83	68,49	
11	Infraestructura						7.705,48
11.1	Asfaltado de caminos	gl	1,00	2.000.000,00	2.283,11	2.283,11	
11.2	Luminaria de caminos	gl	1,00	1.000.000,00	1.141,55	1.141,55	
11.3	Sala de operarios	gl	1,00	2.500.000,00	2.853,88	2.853,88	
11.4	Provisión y montaje de tablero eléctrico	unidad	5,00	250.000,00	285,39	1.426,94	
Total USD							528.527,98
Total ARS							462.990.508,24

6.2. Operación y mantenimiento

En la siguiente sección se presentan los costos asociados a la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes. Para un correcto funcionamiento de la planta se debe contar con servicio eléctrico, mano de obra, mantenimiento preventivo y correctivo, operadores con habilidades especializadas y los insumos químicos a disponer en cada unidad del tratamiento.

6.2.1. Insumos químicos

Se utilizan insumos químicos principalmente en el tratamiento primario, también llamado físico químico. En la coagulación-floculación se adicionan 3 componentes químicos. Cloruro férrico, Cal y Lipesa-1538. El primer insumo utilizado es el cloruro férrico como coagulante, con una concentración de 800 mg/l, lo que equivale a 113 kg/día. Por otro lado, para la floculación se utilizará Lipesa-1538 en una concentración de 500 mg/l, esto equivale a 71 kg/día. Además, con la adición del cloruro férrico se produce un descenso del pH. El efluente cuenta con pH inicial de 9, el cual baja a 2 y se lo lleva a pH 10 por medio de la adición de Cal. La misma es de 1128 kg/d.

En el proceso de oxidación avanzada, se utilizan el Peróxido de hidrógeno al 30% y el Sulfato de hierro $[\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ como insumos. Diariamente se consumen 207 litros y 53 kilogramos, respectivamente. El detalle se puede observar en la sección “5.4.2 Fenton”. Además, se dosifica ácido clorhídrico previo al ingreso al proceso de oxidación avanzada y se corrige el pH de 9 a 3. Por otro lado, al salir del proceso fenton se dirige al equalizador N2 donde se modifica el pH con NaOH hasta alcanzar un pH 7. Para ello, se requiere 1 kg/día.

Para el tratamiento terciario, tal como se encuentra descrito en la sección “5.6.1 Laberinto de cloración” se precisan 1 kg de hipoclorito sódico por día. En cuanto al tratamiento de lodos se utiliza PAC, usualmente entre la concentración de PAC suele estar en el rango de 2 a 5% (peso/volumen). Por ende se estima que se necesitarán 489,6 kg al día para la alternativa 1 y 244,8 kg/día para la alternativa 2.

En la tabla 6.6 se presentan todos los insumos químicos con sus respectivas cantidades y costos mensuales.

6.2.2. Servicio de energía eléctrica

Para el funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes se necesita de suministro eléctrico. El mismo es provisto por EDENOR. Se calcula el costo mensual de la energía a partir del tarifario propuesto por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) para usuarios industriales (Tabla 6.3). En la tabla 6.4 y 6.5 se presentan todos los consumos según los equipos necesarios para el tratamiento del efluente industrial para la alternativa 1 y 2 respectivamente.

Tabla 6.3 Tarifa eléctrica Fuente: EDENOR

Tarifa 3 - BT		
Cargo fijo	\$/mes	88.765,35
Cargo variable	\$/kWh	52,58
Carga variable por potencia	\$/kWmes	9.358,34

Tabla 6.4 Detalle de consumo eléctrico alternativa 1

Cantidad	Cantidad	kW	Total kW	Horas utilizadas	kwh/dia	Total kW/mes
Bomba dosificadora QDOS	5	0,15	0,75	24	18,00	558,00
Soplador repicky R100 y R200	4	0,67	2,68	24	64,32	1993,92
Bomba Grundfos SEG 4015250	7	1,50	10,50	18	189,00	5859,00
Bomba Eddy Pump Heavy Duty Slurry Pump -1-Inch	4	1,10	4,40	18	79,20	2455,20
Mezclador de turbina vertical	1	0,55	0,55	24	13,20	409,20
Luminaria	25	0,03	0,75	24	18,00	558,00
Filtro de bandas	1	1,44	1,44	5	7,20	223,20
Total consumo (kW/mes)						12056,52

Tabla 6.5 Detalle de consumo eléctrico alternativa 2

Cantidad	Cantidad	kW	Total kW	Horas utilizadas	kwh/dia	Total kW/mes
Bomba dosificadora QDOS	9	0,15	1,35	24	32,40	1004,40
Soplador repicky R100 y R200	4	0,67	2,68	24	64,32	1993,92
Bomba Grundfos SEG 4015250	7	1,50	10,50	18	189,00	5859,00
Bomba Eddy Pump Heavy Duty Slurry Pump -1-Inch	4	1,10	4,40	18	79,20	2455,20
Mezclador de turbina vertical	1	0,55	0,55	24	13,20	409,20
Luminaria	25	0,03	0,75	24	18,00	558,00
Filtro de bandas	1	1,44	1,44	5	7,20	223,20
Total consumo (kW/mes)						12502,92

6.2.3. Mano de obra

El costo de la mano de obra involucra el sueldo de los empleados a operar, mantener y administrar la planta de tratamiento de efluentes. Los datos fueron obtenidos a partir de la consulta a colegas y la misma industria para la cual se está diseñando la planta. El equipo de trabajo está conformado por un ingeniero ambiental, un supervisor de la planta de tratamiento, un licenciado en seguridad e higiene y 6 operadores distribuidos en los tres turnos.

Las tareas realizadas por el ingeniero ambiental son asegurarse de que el proceso de tratamiento se cumpla y esté alineado con los estándares ambientales de la compañía; asegurarse la calidad del efluente a volcar; gestionar los residuos generados; entre otras. Por otro lado, el licenciado en seguridad velará por la seguridad ocupacional de los operadores, realizar análisis de riesgo, investigar efluentes y mejorar la calidad de operación de los trabajadores. El supervisor y los operarios llevan la tarea diaria de

operación de cada unidad de tratamiento. Como la dosificación de reactivos, limpieza de unidades, mediciones de laboratorio, entre otras.

En la tabla 6.6 se observan los costos asociados a los salarios de los trabajadores para operar de forma correcta y eficiente la planta de tratamiento de efluentes líquidos.

6.2.4. Gestión de lodos

Los lodos generados por el tratamiento del efluente son retirados por el proveedor PTO SA. El mismo se dedica al tratamiento de lodos industriales mediante un proceso conocido como landfarming, que implica esparcir los lodos en capas finas sobre el suelo y mezclarlos periódicamente para promover la degradación biológica de los contaminantes. Este proceso ayuda a reducir la cantidad de contaminantes en los lodos y a convertirlos en un material menos nocivo para el medio ambiente. El costo del transporte de los lodos por camión es de \$245.950, mientras que el costo del tratamiento es de \$70.580 por tonelada de lodo. El lodo es transportado en un camión acoplado con batea. En la tabla 6.6 se observan los costos asociados a este tratamiento por mes.

6.2.5. Mantenimiento preventivo y correctivo e imprevistos.

En cuanto a los costos asociados al mantenimiento preventivo y correctivo se estima que equivalen a un 5% de los costos operativos. Es necesario contar con un respaldo económico de reserva en casos de imprevistos o reparaciones que deban hacerse gradualmente para asegurar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento. Cabe destacar que una parada por no cumplir los mantenimientos preventivos de la planta conlleva a que frene la elaboración de productos para el cuidado del hogar. Para el caso de la alternativa 2, se tiene en cuenta el recambio de las membranas del MBR con una frecuencia de 5 años. En la tabla 6.6 y 6.7 se observa el detalle de este porcentaje.

6.3. Costo mensual total de operación y mantenimiento

En la siguiente sección se muestra la tabla 6.6 y 6.7 con el detalle del apartado 6.2. La tabla integra todos los costos asociados a la operación y mantenimiento de PTEL. El costo total de operación y mantenimiento es de a la fecha 29 de abril del año 2024 y un valor oficial del dólar estadounidense de US\$ 876

Tabla 6.6 Costo mensual de operación y mantenimiento de la PTEL alternativa 1. Fuente: elaboración propia

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL								
Ítem	Descripción	UN	Cantidad	Costo unitario (peso argentino)	Costo unitario (USD)	Costo parcial (USD)	Total	% Incidencia
1	Consumo energético						1.050	1,39%
1.1.	Costo fijo	unidad	1	88.765	101	101		
1.2.	Costo variable por potencia	kW/mes	21	9.358	10,7	225		
1.3.	Costo variable por energía	kWh	12.057	53	0,1	724		
2	Insumos químicos						49.202	71,20%
2.1.	Cloruro Férrico	kg	3.384	1.752	2	6.768		
2.2.	Cal	kg	4.230	600	1	2.897		
2.3.	Lipesa-1538	kg	71	7.884	9	635		
2.4.	policloruro de aluminio (PAC)	kg	14.688	1.314	2	22.032		
2.5.	HCl	kg	27	984	1	30		
2.6.	NaOH	kg	15	492	1	8		
2.7.	Hipoclorito sódico	kg	31	876	1	31		
3	Mano de obra						21.689	28,69%
3.1.	Operador de planta	unidad	6	1.500.000	1.712	10.274		
3.2.	Ingeniero ambiental	unidad	1	3.500.000	3.995	3.995		
3.3.	Supervisor	unidad	1	2.000.000	2.283	2.283		
3.4.	Licenciado en Seguridad	unidad	1	2.500.000	2.854	2.854		
4	Disposición de lodos						4.546	6,58%
3.4.	Transporte	viajes	20	245.950	167	833		
3.5.	Disposición	kg	18.414	706	1	14.836		

	Total USD						75.593	100
	Total ARS						66.219.353	
5	Mantenimiento						3.780	5,00%
	5% costos de operación	unidad	1	3.310.968	3.780	3.780		

Tabla 6.7 Costo mensual de operación y mantenimiento de la PTEL alternativa 2. Fuente: elaboración propia

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL								
Ítem	Descripción	UN	Cantidad	Costo unitario (peso argentino)	Costo unitario (USD)	Costo parcial (USD)	Total	% Incidencia
1	Consumo energético						1083,28	1,57%
1.1.	Costo fijo	unidad	1	88.765	101	101		
1.2.	Costo variable por potencia	kW/mes	22	9.358	10,7	232		
1.3.	Costo variable por energía	kWh	12.503	53	0,1	750		
2	Insumos químicos						49.202	71,20%
2.1.	Cloruro Férrico	kg	3.384	1.752	2,0	6.768		
2.2.	Cal	kg	4.230	600	0,7	2.897		
2.3.	Lipesa-1538	kg	71	7.884	9	635		
2.4.	Policloruro de aluminio (PAC)	kg	7.344	1.314	1,5	11.016		
2.5.	Peroxido de hidrogeno	l	6.210	3.416	3,9	24.219		
2.6.	Sulfato ferroso heptahidratado al 99%	kg	1.600	1.969	2,2	3.595		
2.7.	Hipoclorito sódico	kg	31	876	1,0	31		
2.8.	HCl	kg	27	984	1,1	30		
2.9.	NaOH	kg	9	492	0,6	5		
2.9.	Químicos Limpieza membranas	kg	9.1.	6.5.	30.12.	4.1.		
3	Mano de obra						14.269	20,65%
3.1.	Operador de planta	unidad	3	1.500.000	1.712	5.137		

3.2.	Ingeniero ambiental	unidad	1	3.500.000	3.995	3.995		
3.3.	Supervisor	unidad	1	2.000.000	2.283	2.283		
3.4.	Licenciado en Seguridad	unidad	1	2.500.000	2.854	2.854		
4	Disposición de lodos						4.546	6,58%
3.4.	Transporte	viajes	5	245.950	167	833		
3.5.	Disposición de lodos	kg	3.900	706	0,8	3.142,3		
Total USD							69.100,74	100,00%
Total ARS							60.532.246,39	
5	Mantenimiento						3.455,04	5,00%
	5% costos de operación	unidad	1	3.026.612	3.455,0	3.455		
	Recambio de membranas	unidad	2	557.465	636,4	1.273		

6.4. Costo total

Se consultó al proveedor PTO SA el costo del tratamiento del efluente a fin de comprender el impacto económico que causaría a la industria no contar con una planta de tratamiento de efluentes en el predio. Esta cotización fue generada el 5 de enero del 2024 con vigencia de 20 días. De esta manera se confeccionó la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Costo del tratamiento de efluentes líquidos de la industria de productos del cuidado del hogar. Fuente: elaboración propia a partir de cotización PTO SA.

Servicio	Valor	Unidad
Terciarización del efluente	50.000,00	\$/m ³
	57,08	USD/m ³
Transporte efluente	489.200,00	\$/25m ³
	19.568,00	\$/m ³
Total terciarización por m ³	22,34	USD/m ³
	79,42	USD/m ³

En la tabla 6.9 se presenta una comparación de los costos totales en dólares relacionados con la inversión inicial, la operación y el mantenimiento, así como el tratamiento del efluente a través de un proveedor externo. Esta comparación es fundamental para evaluar la viabilidad económica de las diferentes opciones disponibles en el proceso de tratamiento de efluentes.

Realizar el tratamiento in situ no solo asegura un control directo sobre el proceso de tratamiento de efluentes, sino que también implica menores costos operacionales en comparación con opciones externas (Tabla 6.9). Al realizar el tratamiento dentro de las instalaciones, se tiene un control directo sobre el proceso, lo que asegura que se cumplan los estándares requeridos y se eviten posibles problemas ambientales o de salud pública. Como se menciona anteriormente, se evalúa la posibilidad de optar por un tratador externo, en este escenario existe el riesgo de que éste mezcle efluentes de diversas industrias, conllevando a un proceso ineficiente o impreciso para el tipo de efluente caracterizado.

Además, al operar en el sitio se reduce significativamente el riesgo de contaminación ambiental asociado a posibles derrames o vuelcos durante el transporte de los efluentes a instalaciones externas. Esta estrategia no solo garantiza la confiabilidad y eficacia del tratamiento, sino que también contribuye a la gestión más eficiente de recursos y al mantenimiento de la integridad ambiental a lo largo del proceso.

Por lo tanto, la realización del tratamiento in situ emerge como la opción más favorable en términos de costos, eficacia y control de calidad del tratamiento de efluente.

Tabla 6.9 Costo de inversión inicial, operación y mantenimiento mensual y tratamiento del efluente en PTEL y en proveedor externo. Fuente: elaboración propia

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Unidad
Inversión inicial	475.867,13	522.947,38	USD
Operación	75.592,87	69.100,74	USD/mes
Mantenimiento	3.779,64	3.455,04	USD/mes
Costo total mensual PTEL	79.372,51	72.555,77	USD/mes
Costo total mensual tratamiento externo	522.777,95		USD/mes

7. Selección de alternativa

La decisión sobre qué tratamiento adoptar se basó en tres factores principales: parámetros de diseño y reducción de la concentración de los mismos, integridad del funcionamiento de la planta de tratamiento, cumplimiento de los estándares legales de contaminación y factibilidad financiera.

En la planta de tratamiento de efluentes líquidos se tratará el efluente industrial y el cloacal. Dentro de la complejidad del efluente industrial, encontramos que su índice de biodegradabilidad al previo al tratamiento es bajo, siendo el mismo de 0,35. Esta problemática se fundamenta con la característica natural del efluente, proveniente de la industria de productos del cuidado del hogar como lo son los detergentes, jabones y otros limpiadores. Parte de los componentes del efluente que causan una baja biodegradabilidad son los surfactantes y comprometen la efectividad de un tratamiento biológico (Aloui Et. Al, 2009) (Ruiz,2016) Es por ello que se analizaron diferencias en los tratamientos primarios a fin de encontrar el tratamiento más efectivo para el efluente.

En el proyecto se presentaron dos alternativas cuyas variaciones se encuentran principalmente en las etapas de tratamiento primario y secundario. Por un lado, la alternativa 1 ofrece un tratamiento tradicional con una coagulación-floculación seguida de

un sedimentador primario y adicionalmente un reactor biológico de lodos activado. Por otro lado, la alternativa 2 propone nuevas tecnologías. En el tratamiento primario se adiciona un proceso de oxidación avanzada con sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno, seguido de un reactor biológico de membranas (MBR). En cuanto al análisis de la efectividad del tratamiento primario, por medio de la alternativa 1 se obtiene un índice de biodegradabilidad de 0,6 previo al ingreso del efluente al tratamiento secundario. Sin embargo, la alternativa 2 ofrece un índice de biodegradabilidad más alto siendo este de 0,9. Esto supone un efluente más biodegradable y por ende mejora el funcionamiento del tratamiento secundario.

Comenzando por el análisis de las eficiencias de remoción, tal como se exhibe en la tabla 6.10 los dos trenes de tratamiento brindan resultados para DQO, DBO y SST que alcanzan los límites admisibles por la normativa de la Resolución N° 336/03 de la Autoridad Del Agua (ADA). Sin embargo, por medio de las eficiencias teóricas de remoción para la alternativa 1 no se puede asegurar una remoción por debajo de este límite para SAAM (González et Al, 2009). En cuanto a la alternativa 1, se puede observar que la biodegradabilidad del efluente mejora con el tratamiento primario escogido, alcanzando un valor de 0,6, admisible en un tratamiento biológico. Por otro lado, la alternativa 2 cuenta con un proceso de oxidación avanzada en donde se permite reducir DQO refractaria y aumentando significativamente la biodegradabilidad del efluente, siendo este de 0,9. De esta manera se alcanza una mayor degradación de los detergentes. Esta alternativa podría tolerar una mayor cantidad de efluente proveniente de la producción de artículos en versión contrada o “para diluir” dado a que si la industria decide producir más artículos de este estilo, la planta de tratamiento de efluentes contaría con las herramientas necesarias para afrontar este cambio y aun así volcar dentro de los límites admisibles. Esto además se ve favorecido por el reactor biológico de membranas que combina un tratamiento biológico con una microfiltración. (Le-Clech P, 2010)

En cuanto a la generación de lodos se puede ver que la alternativa 1 genera mayor cantidad, lo cual tiene un impacto operativo y económico. Dado a que la operación de la deshidratación de los lodos no es continua, depende de la atención, tiempo y habilidades del operador. Por lo tanto la alternativa 1 asume una mayor frecuencia del tratamiento de lodos.

Por otro lado, la alternativa 2 requiere menos superficie para el tratamiento en relación a la alternativa 1. Esto es debido a que en el sistema de membranas, en un solo reactor se combinan las tecnologías de un reactor biológico y una ultrafiltración por lo que

no es necesario el emplazamiento de un sedimentador secundario. No obstante, se cuenta con un total de 3 Ha por lo que el área no es un limitante en este proyecto.

Además, la alternativa 1 no supone una degradación de nutrientes, mientras que la alternativa 2 si. En cuanto al nitrógeno, se estima que el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) generalmente es menor a 2 mg/L. Por otro lado, el rango de salida de un reactor MBR para el Nitrato (NO_3^-) se encuentra entre 10 a 20 mg/L. Por último, el nitrito típicamente se encuentra en valores muy bajos, cercanos al 0,5 mg/L. En cuanto al fósforo total se encuentra en valores menores a mg/L a la salida del reactor (Judd, S., & Jefferson, B. , 2006). Cabe destacar que la tecnología de lodos activados es más sensible a factores ambientales que la alternativa 2.

Como conclusión se decide escoger a la alternativa 2 como la configuración de la planta de tratamiento más viable para el correcto tratamiento del efluente industrial proveniente de la producción de productos del cuidado del hogar.

Tabla 6.10 Comparación de alternativas. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Alternativa 1 : Lodos Activos	Alternativa 2 : Fenton + MBR	Unidad
Eficiencia de remoción de DBO	97%	99%	%
	30,00	14,35	mg/l
Eficiencia de remoción de DQO	95%	97%	%
	77,15	16,00	mg/l
Eficiencia de remoción de SST	97%	99%	%
	20,35	13,57	mg/l
Eficiencia de remoción de SAAM	87%	98%	%
	3,90	0,17	mg/l
Generación de lodos	372	279	m3/mes
Área ocupada	76,18	50,98	m2
Remoción de nutrientes	No	Si	-
Costo de mantenimiento y operación	79.372,51	72.555,77	\$/mes
Dependencia de factores ambientales	Bajo	Bajo	-

8. Estudio de impacto ambiental

En el presente capítulo se presenta el estudio de impacto ambiental (EslA) realizado para el proyecto de emplazamiento de una planta de tratamiento de efluentes líquidos en el parque industrial Pilar para una industria productora de insumos para el cuidado del hogar. El EslA es realizado por el proponente del proyecto e incluye: una descripción del proyecto, en sus respectivas etapas de construcción, operación y cierre; una línea de base ambiental y social; marco legal correspondiente ; identificación y evaluación de los aspectos ambientales; un plan de gestión ambiental con el fin de prevenir, mitigar o compensar los impactos ambientales; viabilidad ambiental del proyecto. El estudio de impacto ambiental es un instrumento que se aplica antes de tomar una decisión sobre la ejecución de un proyecto y se encuentra enmarcado en la Ley General del Ambiente (N° 25.675).

Este estudio se concreta mediante la emisión de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Certificado de Aptitud Ambiental (CAA) por medio de la autoridad de aplicación. Los objetivos primordiales de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) incluye evaluar la viabilidad ambiental de un proyecto, fomentar la transparencia y la participación pública en la planificación y proceso de toma de decisiones, así como propiciar la prevención y gestión adecuada de posibles impactos ambientales y sociales.

8.1. Objetivos y alcance

El presente documento tiene como objetivo la realización de un estudio de impacto ambiental de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL) de la industria de productos de cuidado del hogar. El fin es determinar la viabilidad ambiental del proyecto conforme al anexo II de la Ley provincial N°11.723 de Evaluación de Impacto Ambiental, promoviendo la transparencia de las acciones del proyecto y la participación pública.

En cuanto al alcance del EslA se pretende evaluar las condiciones ambientales del entorno directo en donde se emplaza el proyecto y el efecto del mismo en el ambiente físico, químico, biológico y socioeconómico para cada una de las etapas del proyecto las cuales son construcción, operación y cierre. Dentro del presente estudio, se pretende mencionar los impactos ambientales del proyecto y medidas a adoptar para atenuar aquellos impactos que sean negativos para el medio ambiente junto con los planes de gestión.

La extensión del área a analizar se decide acorde a las zonas de potencial impacto, que incluyen el área que ocupará el predio de la industria, como también las áreas adyacentes en un radio de 5km . Esta distancia tiene el objetivo de cubrir distintas zonas, como por ejemplo el río Luján.

8.2. Metodología

El estudio de impacto ambiental de la planta de tratamiento de efluentes de una industria de productos del cuidado del hogar se llevó a cabo siguiendo un plan de trabajo de cinco etapas.

8.2.1. Marco teórico

Para la elaboración y desarrollo del informe se aplicó una metodología que se encuentra alineada a la legislación provincial, en particular con la Ley provincial N°11.723 de Evaluación de Impacto Ambiental en donde se detallan los contenidos mínimos del Estudio de impacto Ambiental. Para ello, se analiza de manera intensiva el proyecto a emplazar y la normativa aplicable.

8.2.2. Planificación, logística y elaboración de la caracterización ambiental del área de influencia (Línea de Base Ambiental).

Una vez definido el alcance del estudio de impacto ambiental y sus áreas de influencia directa e indirecta se confecciona la línea de base ambiental. La línea de base ambiental (LBA) es una caracterización del área de influencia del proyecto desde distintos puntos de vista, como lo son el ambiente físico, químico, biológico, social y económico previo al inicio de la construcción del proyecto. La LBA es un componente indispensable para realizar posteriormente la evaluación de impactos los cuales pueden ser positivos, neutros o negativos.

8.2.3. Elaboración de la matriz de aspectos e impactos ambientales

Se utiliza el método combinado de Vicente Conesa Fernández - Vítora se realiza la matriz de aspectos e impactos ambientales. Con dicha matriz se logra identificar y además ponderar a los diversos impactos en las etapas del proyecto de acuerdo a un valor de importancia que puede ser positiva o negativa.

8.2.4. Elaboración del plan de gestión ambiental

Una vez identificados los impactos negativos y positivos del proyecto se elaboran medidas de mitigación para abordar impactos de importancia media a alta. Cada impacto se asocia con su correspondiente medida para prevenir, atenuar o compensar. Se confeccionan fichas detalladas de estas medidas, las cuales conforman el Plan de Gestión Ambiental. Este plan abarca la planificación e implementación de las medidas, así como acciones de monitoreo para cada etapa del proyecto, junto con un plan de contingencias.

8.2.5. Cierre

En cuanto al cierre, se prevé completar la evaluación de impacto ambiental para su revisión por la autoridad de control pertinente. En caso de requerir ajustes, esta etapa ofrece la oportunidad de realizar correcciones y afinar detalles relacionados con las medidas de mitigación y el Plan de Gestión Ambiental.

8.3. Marco Legal

El estudio de impacto ambiental se encuentra respaldado por una serie de normas y legislación a nivel nacional, provincial y municipal. En el Anexo I , tabla 1 se encuentra el Marco normativo nacional, provincial y municipal aplicable al proyecto en cuestión.

8.4. Descripción técnica del proyecto

El proyecto en cuestión se dividió en tres etapas principales : Construcción, Operación y Cierre, las cuales serán explicitadas en mayor detalle a continuación. Por otro lado, en cuanto a la información sobre la industria y su producción puede verse el capítulo 2.3 (descripción del proceso productivo) mientras que el detalle del proceso del tratamiento del efluente líquido se observa en el capítulo 5 (memoria descriptiva y análisis de alternativas).

8.4.1. Etapa de construcción

El proyecto busca habilitar una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria de productos del cuidado del hogar. El predio consta de 18 ha de las cuales se destinan 3 Ha para la realización de la planta de tratamiento. Se prevé que la construcción de PTEL tardará seis meses, por lo que su operación empezaría luego de la finalización de

la etapa constructiva. En la etapa de construcción se contemplan acciones vinculadas a la obra civil del emplazamiento de la planta de tratamiento. Las acciones a realizar son por ejemplo: la preparación del terreno; la generación de los accesos; circulación de vehículos; el uso y circulación de maquinaria; la confección del tendido de red eléctrica y gas, cerco perimetral , barrera forestal ; la confección de cada unidad de tratamiento; el emplazamiento de los equipos o unidades llave en mano; la interconexión entre las unidades, entre otras . Se contempla que para la construcción se necesitarán 100 empleados que trabajarán 5 días a la semana en dos turnos, de lunes a viernes, de 6:00 a 18:00 hs.

A continuación en la tabla 8.1 se detalla el área destinada a cada unidad sobre la superficie total mencionada anteriormente.

Tabla 8.1 Sector de superficie con su correspondiente área en m².

Sector	Área m ²
Rejas	1,87
Ecuilizador N1	10
Coagulador	8,11E-03
Floculador	2
Sedimentador primario	4,5
Tanque Fenton	7,8
Ecuilizador N2	9
Reactor MBR	10,8
Camara de cloracion	2,3
Tratamiento de lodos	2,7
Área Total	50,9

Por otro lado, en la tabla 8.2 se observa en detalle las acciones identificadas para cada fase de la construcción. Cabe destacar que para esta etapa es necesario contar con planos de construcción y estudios geológicos con el fin de caracterizar el suelo en el cual se va a emplazar la PTEL. Esta etapa se dividirá en subetapas que se observan en la siguiente tabla.

Tabla 8.2. Acciones identificadas en la etapa de construcción de la planta de tratamiento de efluentes.

Actividad	Descripción
Preparación del terreno	Instalación de cercas y edificación de estructuras temporales para el equipo de trabajo. Conexión de servicios (red eléctrica, baños químicos)
Excavación y nivelación	Proceso de adecuación del terreno mediante la limpieza y nivelación para establecer una base sólida que pueda soportar tanto las cargas del uso final como las diversas fases de la construcción
Instalación de estaciones de control y monitoreo Implantación de soporte estructural	Construcción de los pilares de la obra instalación de componentes ensamblados.
Instalación de las unidades básicas de operación	Construcción de las instalaciones de la planta de tratamiento de efluentes
Conexión entre unidades de tratamiento	Implementación de desagües de aguas pluviales, tuberías, y equipos como bombas, entre otros
Desocupación del personal del lugar de trabajo	Desmantelamiento de las instalaciones temporales, clasificación y eliminación de los desechos producidos durante la construcción
Generación de residuos	A partir de la construcción y ensayos hidráulicos de los equipos, purgado de aire para limpieza y otras purgas

8.4.1.1. Emisiones, efluentes y residuos generados

La construcción de edificaciones y servicios tiene asociado una generación de residuos, especialmente sólidos. Estos residuos pueden ser especiales como no especiales. Como dentro de las primeras acciones dentro de esta etapa se encuentra el

acondicionamiento del predio, se generan en un principio grandes cantidades de maleza y hierbas. Luego ya comenzando las actividades propiamente dichas de construcción, se producirán residuos sólidos los componentes típicos de construcción como lo son hormigón, asfalto, madera, metales, yeso, cerámicos o baldosas, ladrillos y vidrios. Estos residuos se recolectan diariamente y serán depositados en un área delimitada para que luego sean recolectados para su correspondiente tratamiento.

En el caso especial de los residuos especiales, se dispondrán según el protocolo propuesto por la Ley N° 11.720 de residuos especiales. En cuanto a la construcción, encontramos residuos especiales como los restos de pintura, barnices, diluyentes, entre otros, se dispondrán en sitios cerrados herméticamente para su disposición transitoria. Además, las personas encargadas de la construcción generarán residuos sólidos urbanos.

A su vez, en esta etapa del proyecto, se generarán emisiones gaseosas principalmente provenientes de los procesos de combustión en los motores de la maquinaria especializada para la construcción y de los vehículos de transporte. Las presentes acciones emitirán gases de combustión como lo son el CO₂, CO, hidrocarburos, SO₂, los NO_x y PN. Por otro lado, el mismo proceso tanto de acopio como de construcción generará partículas sólidas suspendidas.

En cuanto a los efluentes líquidos los mismos son asimilables a cloacales debido a la instalación de los obradores. Dichos efluentes serán dispuestos en conjunto con los generados por la fábrica en esta etapa.

Por otro lado, el consumo de agua es un aspecto a mencionar ya que el suministro de agua potable será brindado por el sistema de captación de agua subterránea que alimenta a la red de la superficie productiva.

8.4.2. Etapa de operación

La fase operativa abarca la puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento continuo de la planta de tratamiento de efluentes para asegurar su correcto rendimiento. En este período, se llevará a cabo el tratamiento de las aguas residuales, vertiéndolas en el colector del parque industrial Pilar, el cual desemboca en el río Luján. La duración estimada de esta etapa oscila entre 25 y 30 años. En cuanto a las actividades específicas de esta etapa se encuentran detalladas en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3. Acciones identificadas en la etapa de operación de la planta de tratamiento de efluentes.

Actividad	Descripción
Puesta en marcha	Comienzo de operación de la planta en el que se busca alcanzar el estado estacionario en cada unidad
Mantenimiento y limpieza de unidades de tratamiento	Limpieza de los equipos con una frecuencia dada y mantenimiento preventivo de bombas y válvulas
Vuelco de agua tratada	Acción de vuelco por cámara de aforo al río Luján.
Provisión de insumos químicos	Compra, acopio y utilización de productos químicos necesarios para el tratamiento.
Gestión de lodos	Análisis de los barros provenientes de las unidades para identificar necesidades de purga Toma de muestras y realización de ensayos de laboratorio
Monitoreo y análisis de los efluentes previo al vuelco	Análisis de los resultados evaluando el cumplimiento de los límites de vuelco

8.4.2.1. Emisiones, efluentes y residuos generados

En relación con los residuos generados pueden categorizarse como: residuos generales, residuos peligrosos y derivados de las unidades de tratamiento que integran la planta productiva. El primer grupo mayoritariamente consiste en restos de embalajes de productos utilizados en la operación de la planta como lo son plásticos, cartones, papel, entre otros. El segundo, a los residuos peligrosos es decir desechos de material de laboratorio que cuentan con reactivos químicos, o productos químicos fuera de estado que se emplean en la planta de tratamiento como lo son las sales de hierro, floculante y polímero. En cuanto al tercer grupo, se refiere a los lodos generados que son tratados en diversas unidades. Los lodos resultantes de la etapa de compostaje se comercializan como acondicionadores de suelos para usos agrícolas y hortícolas. Por otra parte, las emisiones gaseosas, se originan como emisiones difusas producto del contacto del efluente industrial

con el entorno, liberando compuestos orgánicos volátiles en cada unidad. Además, se asocian emisiones de transporte de lodos desde la planta de tratamiento hasta su disposición final.

8.4.3. Etapa de cierre

Una vez finalizada la vida útil de la planta de tratamiento de efluentes líquidos se da lugar a la etapa de cierre de la misma. Aquí se realizan las acciones de desmantelamiento del predio, se quitan los equipos y la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta. Por otro lado, se demuelen los cimientos y paredes, se cierran los pozos y fosas, entre otras acciones civiles. Por último se adecuación del predio, esta última acción involucra la limpieza completa de la zona intervenida, la remodelación del suelo y del paisaje. Se añadirá una capa de suelo adecuada para favorecer la revegetalización. Para la reconfiguración de la capa orgánica del suelo, se utilizará el suelo extraído al inicio de la fase constructiva o, en su ausencia, se emplea un suelo similar como base para la revegetalización con especies nativas.

Tabla 8.4. Acciones identificadas en la etapa de cierre de la planta de tratamiento de efluentes.

Actividad	Descripción
Desmantelamiento de equipos y maquinaria	Remoción de los cimientos de las unidades instaladas Cierre de conductos y conexiones de efluentes realizadas, como por ejemplo el vuelco al arroyo
Desalojo de escombros	Retiro de todos los cimientos removidos y disposición de estos como residuos
Adecuación del espacio utilizado	Limpieza y adecuación del terreno Recomposición de la capa vegetal del suelo
Monitoreo de cierre	Realización y análisis de la calidad del agua del arroyo y aquellos factores ambientales que se considere pueden haber sido afectados

8.4.3.1. Emisiones, efluentes y residuos generados

Se producen efluentes gaseosos compuestos por material particulado, por la acción de la demolición principalmente. La maquinaria que realice combustión emite CO, CO₂, PM, NO_x, SO_x, entre otros. Por otro lado, los residuos sólidos serán principalmente de demolición, cañerías, filtros, sopladoras y bombas. Estas últimas pueden ser reutilizadas en el caso de que se encuentren en condiciones.

8.5. Alcance del estudio

El proyecto se llevará a cabo en el partido de Pilar, el mismo se encuentra en la zona noreste de la provincia de Buenos Aires. El mismo limita con los partidos de Campana, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, Luján, Malvinas Argentinas, José C. Paz y Moreno.

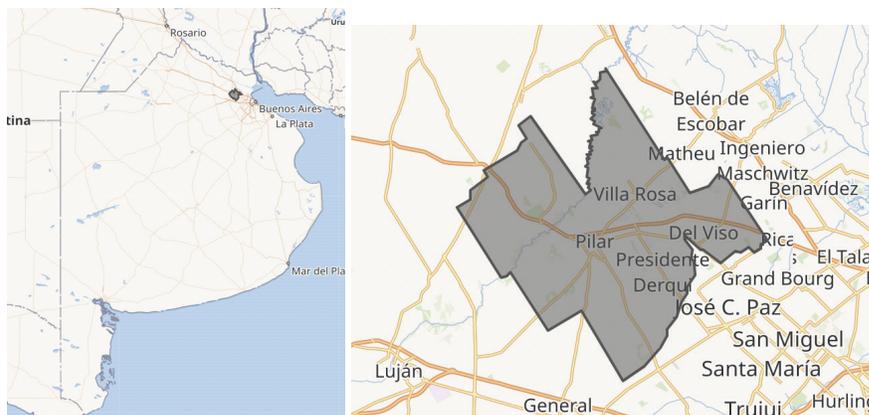


Figura 8.1: Ubicación y límites del Partido de Pilar

Como se mencionó anteriormente, el área del proyecto en sí se encuentra definida por el predio destinado al emplazamiento de la nueva planta de tratamiento de efluentes industriales en Pilar. El área destinada a la construcción de la planta de tratamiento es de un total de 3 Ha. No obstante, para la caracterización del medio receptor del proyecto se consideró un área de influencia mayor de modo que la misma abarque el entorno donde pudieran verse manifestados los potenciales impactos ambientales del proyecto. Para poder realizar una correcta valoración de los impactos, en primer lugar se debe poder determinar el alcance del estudio, es decir el área de influencia directa e indirecta.

El Área de Influencia Directa (AID) corresponde al área en la que se manifiestan los impactos ambientales directos. Principalmente aquellos efectos que podrían ocurrir en el mismo sitio en el cual se producen las acciones del proyecto. Por lo tanto, el área de influencia directa se encuentra comprendida por el área de la planta de tratamiento a construir, las zonas destinadas a obras complementarias como el área productiva, redes de servicios, tendido eléctrico, redes pluviales, zonas de disposición de residuos, y los caminos de acceso. Por ende, este área sería un poco mayor a la de la obra, tomándola como 20 Ha.

También se contempla un área de influencia indirecta, AII. Esta se define como el área en la cual se presentan los impactos ambientales indirectos, estos son aquellos que ocurren como consecuencia de su influencia sobre el medio. El AII incorpora el AID y se define teniendo en cuenta las actividades del proyecto y la demanda del mismo hacia los componentes ambientales del medio en cuanto a insumos y desechos. A su vez contempla el territorio donde potencialmente se manifiestan los efectos del proyecto sobre el sistema ambiental, en particular en relación con algunos de los componentes ambientales como lo son el agua, suelo, aire, población, biota, etc. Por las razones mencionadas, se determinó que la delimitación de esta área incluiría la proximidad al río Luján y a los arroyos que desembocan en él. Estos cuerpos de agua se consideraron como una referencia clave debido a su cercanía al proyecto, estando ubicados dentro de la cuenca del río Luján, con la planta a unos 3 km de distancia del río. En consecuencia, se considera que la cuenca del río Luján tiene una influencia indirecta sobre el área en cuestión. Por lo tanto se considera como el área de influencia indirecta a dicha cuenca. Sin embargo, la definición de las áreas de influencia directa e indirecta se ajustan a medida que se continúa con la evaluación de los impactos y es por esto que no pueden quedar definidas en su totalidad hasta que se realicen los análisis conclusivos sobre el estudio.

8.6. Caracterización ambiental del área de influencia (Línea de Base ambiental)

En la siguiente sección se describe la línea de base ambiental (LBA). Esta es una caracterización del área de influencia del proyecto desde distintos puntos de vista, como lo son el ambiente físico, químico, biológico, social y económico previo al inicio de la construcción del proyecto.

El propósito de la Línea de Base es establecer las condiciones iniciales en las que se encuentra el ambiente, de manera que se pueda monitorear los aspectos más relevantes

y evaluar cómo varían durante la implementación del proyecto. Esto permitirá regresar a las condiciones iniciales una vez que se complete el proyecto. La LBA es un componente indispensable para realizar posteriormente la evaluación de impactos los cuales pueden ser positivos, neutros o negativos.

8.6.1. Línea de base físico química

El medio físico-químico de la línea de base ambiental comprende a los componentes abióticos del ambiente. Estos a su vez se relacionan con el medio biótico en donde encontramos las propiedades y características de los ecosistemas. Para la caracterización del medio físico se describen el clima, la calidad del aire, los ruidos, la geología, geomorfología, edafografía y la hidrología de la región donde se implantará el proyecto, en este caso Municipio de Pilar, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

8.6.1.1. Meteorología

La estación meteorológica más cercana al partido de Pilar se encuentra en el Aeródromo Mariano Moreno, José C Paz, Buenos Aires. Es por esto que se decidió tomar los datos de dicha estación meteorológica para el análisis climático, la misma que se ubica a 15 km al suroeste del emplazamiento del proyecto.

8.6.1.1.1. Clima

A continuación se establece una caracterización del clima de la zona de influencia a partir de información recolectada del Servicio Meteorológico Nacional y el INTA. Además, para comprender la climatología del municipio de Pilar, se debe contemplar la cuenca del río Luján ya que este municipio forma parte del área de la cuenca. La Cuenca del Río Luján, se encuentra al noreste de la provincia de Buenos Aires, su área es de 3401 km². Esta atraviesa quince partidos de la provincia de Buenos Aires: Campana, Carmen de Areco, Chacabuco, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, José C. Paz, Luján, Malvinas Argentinas, Mercedes, Moreno, Pilar, San Andrés de Giles, Suipacha y Tigre. (COMILU)

Para más claridad en cuanto al curso del río Luján, a continuación se puede ver en la figura 8.2 el curso de este junto con las principales rutas y centros urbanos que atraviesa.

El río fluye de SO a NE hasta la altura de Escobar aproximadamente y luego de NO a SE hasta finalmente desembocar en el río de La Plata.

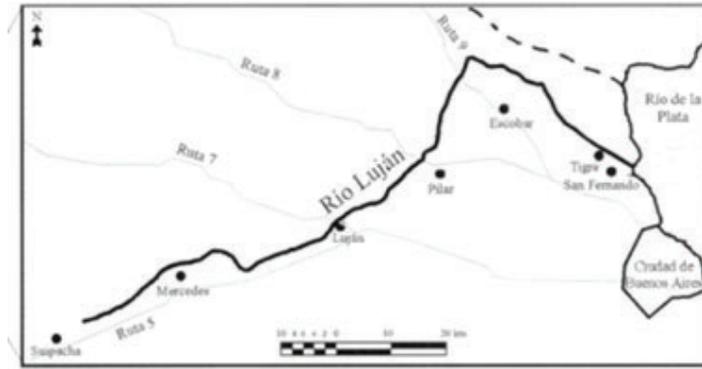


Figura 8.2: Curso del Río Luján y las principales rutas y centros urbanos de su cuenca.

Fuente: Guichón Et. Al. 1999

Según la caracterización climática del INTA (1995), el área de estudio corresponde al clima Templado pampeano, (Figura 8.2).

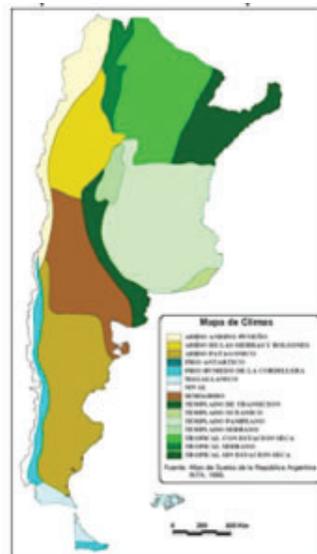


Figura 8.3: Mapa de climas de la República Argentina Fuente: INTA

8.6.1.1.2. Temperatura

Pilar se encuentra localizado dentro de un régimen templado-húmedo, similar al de casi toda la pampa húmeda. La temperatura media anual para el municipio de Pilar oscila entre 15°C y 19°C. Siendo el mes más cálido enero, en el cual la temperatura se aproxima a un promedio de 24,3°C y el más frío julio con una temperatura de 10°C. Las temperaturas extremas registradas pueden llegar a -9°C, en julio, y 41°C en enero. Con respecto a las heladas, estas comienzan a fines de mayo y las últimas se producen a principios de septiembre. Los veranos son calurosos, húmedos, mojados y mayormente despejados y los inviernos son fríos y parcialmente nublados.

8.6.1.1.3. Precipitaciones

El régimen de precipitaciones es de tipo mediterráneo con lluvias que oscilan alrededor de 1.000 mm medios anuales, con máximos de 1300 a 1600 mm. (COMIREC y Ministerio de Economía, 2020) esto ocurre en la época invernal, por otra parte el verano la zona es más propensa a presentar sequías. Este clima determina una buena provisión de agua de lluvia y un régimen térmico moderado, permitiendo la agricultura sin riego continuo y la ganadería totalmente a campo.

8.6.1.1.4. Presión atmosférica

La presión atmosférica promedio anual es uniforme en toda la región, con una media de 1015 hPa, aunque puede oscilar entre 1011 y 1019 hPa. Los niveles más altos se observan típicamente entre junio y agosto, mientras que los más bajos suelen ser entre diciembre y febrero.

8.6.1.1.5. Humedad relativa

Según Climate Data se puede observar en la tabla 8.4 que la humedad relativa se encuentra en promedio cercano a un 68% a lo largo del año, con un máximo de 77% en el mes de junio y un mínimo de 59% en el mes de diciembre.

Tabla 8.4. Variación mensual de la humedad relativa para los años 1991 - 2021 Fuente:
Climate data

Mes	Humedad relativa (%)
Enero	60
Febrero	68
Marzo	71
Abril	71
Mayo	76
Junio	77
Julio	76
Agosto	73
Septiembre	69
Octubre	70
Noviembre	63
Diciembre	59

8.6.1.1.6. Viento

En la figura 8.4 se pueden observar los principales vientos y su circulación en la Argentina. Particularmente, la cuenca del río Luján se ve influenciada por la sudestada, el viento Pampero y el viento del Norte. Además del de los vientos permanentes provenientes del anticiclón del Atlántico Sur.



Figura 8.4: Circulación de vientos locales de Argentina. Fuente: <https://infoagro.com.ar/el-zonda-el-pampero-y-la-sudestada/>

El viento pampero se origina en el sur de la Patagonia, este se caracteriza por ser un viento frío y seco. El mismo al llegar a la zona de interés produce ráfagas de viento muy intensas con a su vez precipitaciones debido a la convergencia de frentes de aire lo que produce un ascenso frontal de masas de aire.

La sudestada se encuentra caracterizada por la ocurrencia de vientos persistentes de intensidad moderada a fuerte provenientes del sudeste, generalmente acompañada con lluvias aunque las mismas no son de gran intensidad. Para que dicho fenómeno ocurra se debe instalar un centro de alta presión al norte de la Patagonia el cual emite vientos hacia un centro de baja presión en el Litoral, con velocidades del orden de 20 a 70 Km/hora para las más severas. El fenómeno de sudestada afecta tanto las márgenes como al valle aluvial del Río de la Plata. (Serman, 2014)

8.6.1.2. Calidad de aire

A partir de la página IQAir, la cual estima el índice de calidad del aire (ICA) de cada ciudad del mundo, Buenos Aires posee un ICA de 25, lo que quiere decir que el nivel de contaminación del aire es bueno (bajo). Se cuenta con dos Estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire de Buenos Aires, que tienen analizadores continuos de los contaminantes básicos del aire, como material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono. Estas muestran que el contaminante principal es el material

particulado, PM 2,5. La concentración de PM2,5 en Pilar en enero del 2023 se encontró superior al valor guía anual de calidad del aire de la OMS.

Por otro lado, se realizó una campaña de muestreo para obtener valores más precisos sobre la calidad del aire en el municipio de Pilar. Para realizar las mediciones se tuvo en cuenta la dirección de viento predominante para el mes en el que se llevó a cabo el ensayo acorde a los datos presentados en la sección anterior y analizando el pronóstico del día, se colocó un equipo de medición de calidad de aire a sotavento y otro a barlovento. Las mediciones se llevaron a cabo en asociación con científicos de la Universidad Nacional de San Martín. Los puntos en los que se realizaron las mediciones se muestran en la figura 8.5 a continuación, y sus coordenadas se encuentran en la tabla 8.5 . Por otro lado, los resultados se encuentran presentados en el Anexo IX.

Tabla 8.5 : Localización de los puntos de muestreo y predio de PTEL.

Punto	Latitud	Longitud
CA1	34°24'05"S	58°57'30"W
CA2	34°24'06"S	58°57'12"W

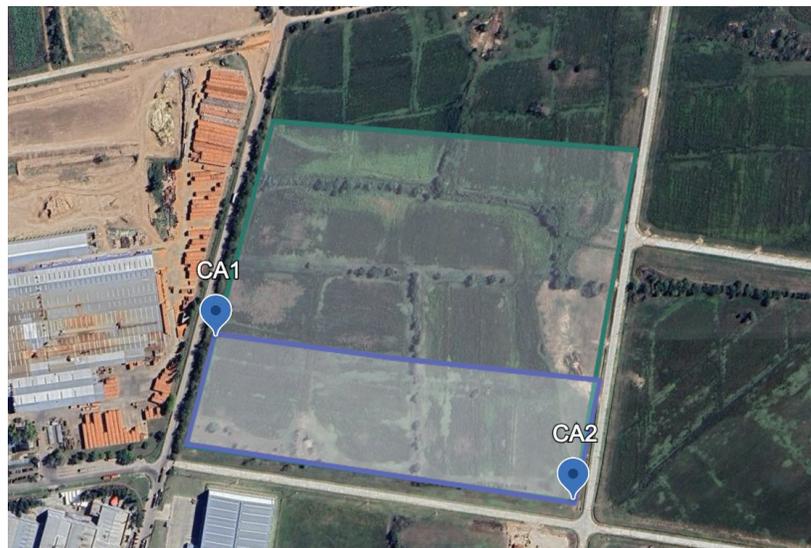


Figura 8.5 : Localización de los puntos de muestreo y predio de PTEL.

8.6.1.3. Medición de ruido

Se realizaron mediciones de ruido de fondo en dos puntos próximos al terreno del barrio cerrado. Sus coordenadas se encuentran detalladas a continuación en la tabla 8.6 y

en la figura 8.6. Las principales fuentes ruidosas cercanas al predio son la entrada al municipio de Pilar, la entrada al barrio de Fatima y fábricas aledañas. Las mediciones se realizaron a partir de un decibelímetro Trigger 392 cumple totalmente con la norma IEC61672-1 Clase 2. Los valores obtenidos fueron contrastados frente a la normativa, que en este caso fue la Ley de presupuestos mínimos de contaminación acústica, Anexo IX.

Tabla 8.5 : Localización de los puntos de muestreo y predio de PTEL.

Punto	Latitud	Longitud
R1	34°24'08"S	58°57'21"W
R2	34°23'58"S	58°57'14"W

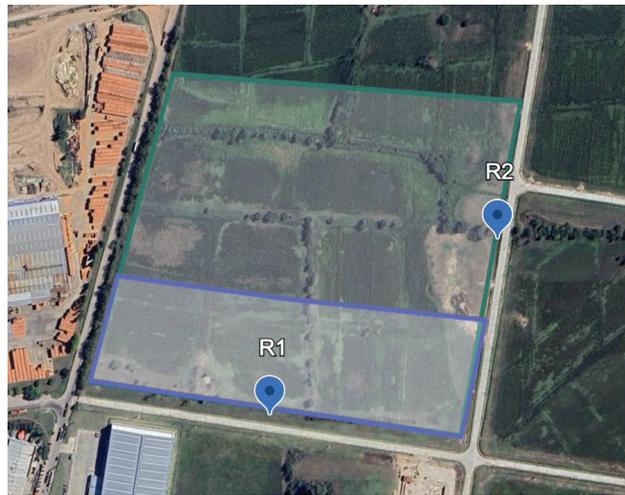


Figura 8.5 : Localización de los puntos de muestreo y predio de PTEL.

8.6.1.4. Geología

Pilar se encuentra entre 20 y 25 m sobre el nivel del mar en el centro-este de la provincia de Buenos Aires y como se mencionó anteriormente pertenece a la cuenca del Luján. El municipio se encuentra dentro de la región denominada como la Pampa ondulada. En cuanto a las formaciones geológicas las mismas son:

- Formación Buenos Aires: Compuesta principalmente por sedimentos fluviales y eólicos del Pleistoceno superior, incluyendo limos, arcillas y arenas. Es comprendida por acumulaciones limosas y limo arenosas en las cuales también se observan concreciones calcáreas.

- Formación Luján: se generó a partir de oscilaciones climáticas a lo largo del holoceno que provocaron avances del mar en la zona central de Argentina. Formada por depósitos aluviales y fluviales del Pleistoceno superior e inferior, que consisten en gravas, arenas y limos.
- Formación Pilar: Compuesta por sedimentos aluviales y eólicos del Pleistoceno superior, incluyendo limos, arcillas y arenas.
- Formación Paraná: Presente en algunas áreas cercanas a los ríos, esta formación incluye sedimentos fluviales y aluviales del Cretácico y el Terciario.

8.6.1.5. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico el área de estudio presenta características de la Pampa Ondulada, es decir, llanura ondulada formada por depósitos del periodo pampeano, constituida por sedimentos loésicos. Los suelos de la región son fundamentalmente franco limosos. (Guichon,1999)

Conforme a la interpretación de la carta topográfica 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM) titulada "Pilar 3560-12-1", se evidencia que la altitud más elevada se encuentra en las cercanías de la estación Manzone, próxima a las vías del Ferrocarril General San Martín (FCGSM), con una elevación de 25,3 metros. En contraparte, la más baja se localiza en el valle de inundación del Arroyo Escobar, registrando una altura de 4,6 metros sobre el nivel del mar. La diferencia entre estas alturas, conocida como amplitud de relieve, es de 20,7 metros. Además, el gradiente topográfico se desplaza en dirección suroeste-noreste.

8.6.1.6. Edafología

En la pampa ondulada predominan los suelos Molisoles (Argiudoles y Epiacuoles principalmente), seguidos de Entisoles (Fluventes), Vertisoles (Epiacuertes) y Alfisoles (Natracualfes). En general, su relieve es levemente ondulado y en un paisaje que se caracteriza por tener largas pendientes de suave gradiente y unidireccionales, con una red de drenaje con arroyos y cursos de agua bien definidos. Estas características se deben a una ligera elevación del basamento cristalino y la erosión de los ríos. El Partido de Pilar pertenece al Dominio Edáfico N°10 (SAGyP-INTA, 1989) como se puede observar en la figura 8.6.

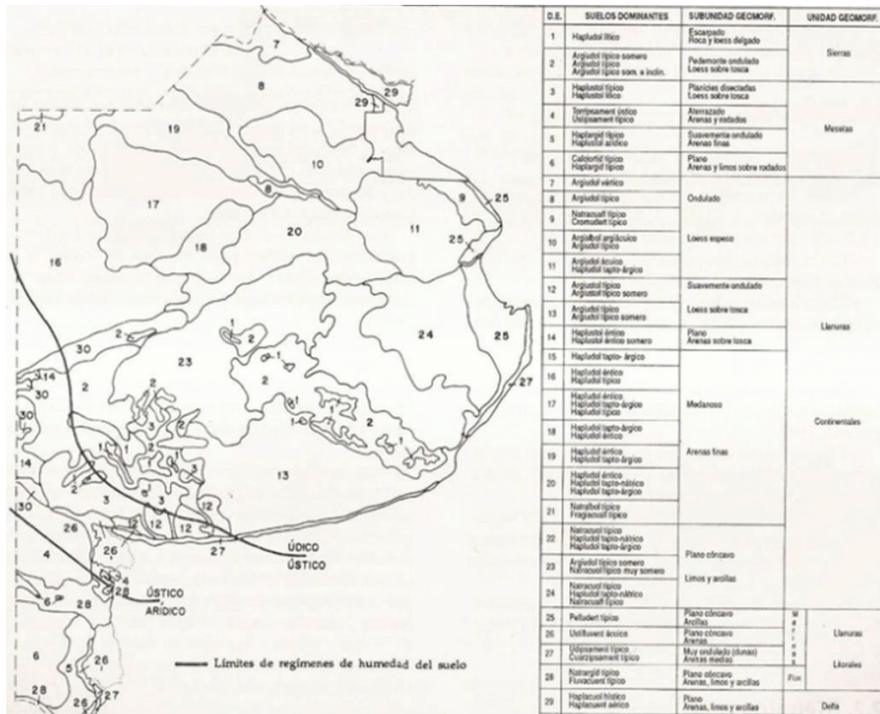


Figura 8.6 : Ubicación del partido de Pilar sobre mapa Edáfico de la Provincia de Buenos Aires. Fuente: Mapa de suelos de la Pcia de Bs As (INTA, 1989).

8.6.1.7. Perfil del suelo

A partir de la categorización según SAGyP-INTA en el mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires presente en la figura 8.7 , existen 10 subregiones naturales de la provincia de Buenos Aires. El municipio de Pilar se encuentra en el límite la región de estudio se halla en entre la región denominada Pampa ondulada y la región Pampa Ondulada Alta. Los suelos de estas regiones son para la pampa ondulada del Orden, Molisol; Suborden: Udol ; Gran Grupo: Argiudol; Subgrupo: Abrúptico.

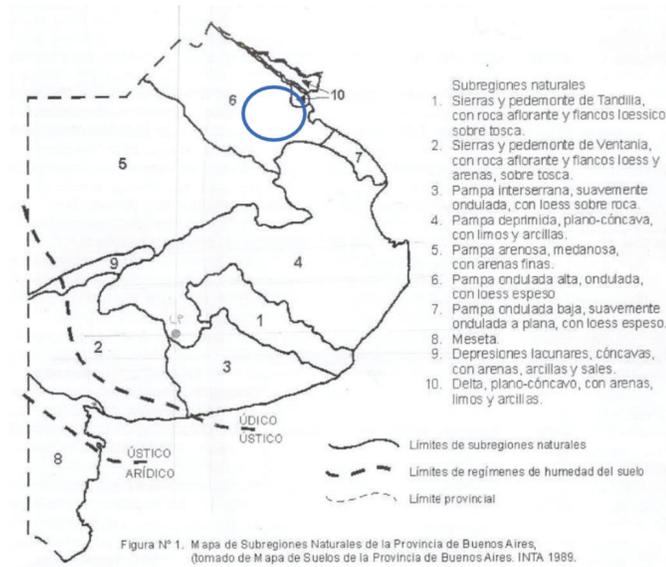


Figura 8.7 : Subregiones naturales de la provincia de Buenos Aires Fuente: Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata, 2005 cap XXII

Los perfiles de los suelos de la zona de Pilar, descritos anteriormente, se observan en la figura 8.8. Además, en el anexo IX se encuentra el estudio de suelos realizado con los parámetros correspondientes.



Figura 8.7 : Perfiles de los tipos de suelo de la región. Izquierda Argiudol Abrupto. Derecha: Argiudol petrocálcico en el partido de Pilar, ambiente de la planicie loésica. Centro: Suelo de tipo Argiudol típico desarrollado en depósitos loésicos en el ambiente de Pampa Ondulada. Fuente : Argentina 200 años 200 suelos JOSÉ LUIS PANIGATTI

8.6.1.8. Hidrología

La zona de estudio en cuestión forma parte de la cuenca del río Luján. Este es un curso de agua dulce de llanura y, como tal, presenta meandros. Su longitud es de aproximadamente 130 km, sus aguas son lentas y, como consecuencia de su escasa pendiente, que alcanza una media de 0,44 m/km, tiene amplios valles de inundación. El régimen de alimentación del río es pluvial -vía capa freática- y su caudal medio es de 5,4 m³/s. (Sanchez Caro Et. Al.,2014). El relieve de dicha cuenca es uniforme. Se trata de una llanura del tipo sedimentario pampeano en el sector bonaerense y de una llanura aluvial aún en proceso de formación en el delta del Paraná (Andrade, 1986).

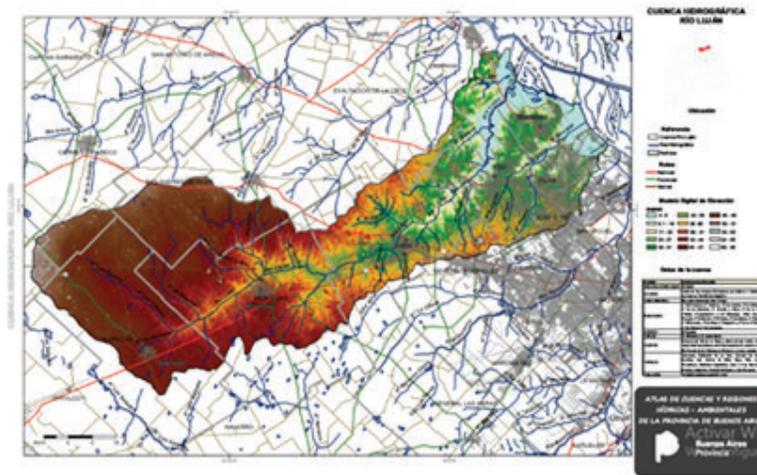


Figura 8.8 : Cuenca hidrográfica del Río Luján. Fuente: COMILU

La cuenca puede dividirse en tres tramos principales, donde el municipio de Pilar se encuentra en el tramo medio de la cuenca. Como se puede ver en la figura 8.8, el río nace en la confluencia de los arroyos Los Leones y El Durazno, en el partido de Suipacha, y termina su curso desembocando en el Río de la Plata.

El tramo superior recorre una distancia de 40 km desde sus nacientes en Suipacha hasta la localidad de Jáuregui y recibe los afluentes más importantes en caudal (arroyos Moyano, Grande, Balta y Ranchos). Presenta un drenaje escaso y una pendiente media de 0,40 m/km. Esta parte de la cuenca corresponde a una llanura alta formada básicamente por sedimentos pampeanos.

Su tramo medio, desde Jáuregui hasta la localidad de Pilar (30 km), es la parte del cauce que tiene el relieve más acentuado (por lo tanto, donde el drenaje es mayor)

constituyendo lo que se denomina llanura intermedia. Esta sección tiene una pendiente media de 0,83 m/km, y presenta un mayor drenaje y un desarrollo más notorio en la margen norte.

El tramo inferior es el de mayor longitud (60 km) y el que tiene menor pendiente, tanto en el cauce principal como en sus afluentes (0,05-0,16 m/km), atraviesa la zona del Delta en Tigre y desemboca en el Río de la Plata. (Sanchez Caro Et. Al.,2014 y COMILU).

Respecto a la calidad del agua del río Luján, existen distintos estudios sobre la misma y su relación, directa o indirectamente, con la descarga de efluentes líquidos. Dado que el río Luján será receptor de los efluentes líquidos tratados por el proyecto, es de suma importancia tener en cuenta los valores de los parámetros de dicho río previos al emplazamiento del mismo.

La Tabla 8.6 proporciona rangos típicos de parámetros tales como pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad, potencial de óxido reducción, DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal, cloruros, sulfuros, sólidos sedimentables, aceites y grasas y detergentes aniónicos. Cabe destacar que el oxígeno disuelto disminuye aguas abajo. Por otro lado, la concentración de NH_4^+ tiende a aumentar en los tramos medio y bajo. Mientras que las máximas concentraciones de Cl^- se encontraron en la cuenca alta y media. Estos valores se comparan con los niveles guía establecidos por La Secretaría de recursos hídricos de la cuenca del Plata de la República Argentina.

Tabla 8.6 : Parámetros y rangos típicos para el río Luján. Datos extraídos (Castañé 2015) y (Sánchez Caró 2012) (Estudios cátedra taller ambiental 1, UNSAM, 2022)

Parámetro	Rango típico Río Luján	Método de medición
DBO5	5 - 30 mgO ₂ /L	SM 5210 B
DQO	20 - 91,3 mgO ₂ /L	SM 5220
pH	6,5-9	phmetro
Oxígeno Disuelto	>5 mg O ₂ /l	sonda multiparamétrica
Temperatura	<35°C	termómetro
Dureza	87,5 - 332 mg/L	Método de titulación
Alcalinidad	266,7 - 749,6 mg/L	Método de titulación
Cloruro	46,1 - 405,6 mg/L	SM 4500 - Cl
Fosfato	0,9 - 1,2 mg/L	SM 4500 - P
Amonio	0,008 - 7,68 mg/L	SM 4500 - NH ₃
Nitrato	0,07 - 15 mg/L	SM 4500 - NO ₃
Sulfato	317,6 - 693,0 mg/L	SM 4500 - SO ₄
Coliformes totales	475 - 4700 UFC/100mL	Método del número más probable
Metales pesados	0 - 0,106 mg/L	SM 3111
Clorofila a	14,67 - 71,80 µg/L	APHA 10200-H

En cuanto a la hidrología subterránea específica del partido de Pilar, podemos encontrar la recarga del acuífero pampeano. Esta es una de las principales fuentes de agua subterránea en la región. Este acuífero se compone de sedimentos porosos y permeables

que pueden retener y transmitir grandes cantidades de agua subterránea. Es un recurso crucial para la extracción de agua para uso agrícola, industrial y doméstico en la zona.

La recarga del Acuífero Pampeano en el partido de Pilar proviene principalmente de la infiltración de las precipitaciones y de los ríos y arroyos que atraviesan la región. La lluvia es la principal fuente de recarga, ya que se infiltra en el suelo y recarga gradualmente los acuíferos subterráneos. La presencia de suelos porosos y permeables, como los loess y las areniscas, favorece la infiltración y el almacenamiento de agua subterránea. Sin embargo, en la actualidad el incremento de las áreas urbanizadas y la explotación excesiva de los recursos hídricos pueden afectar la calidad y la disponibilidad del agua subterránea en la región.

8.6.2. Línea de base biológica

8.6.2.1. Marco regional

Desde el punto de vista fitogeográfico, el municipio de Pilar pertenece a la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Oriental. (Cabrera ,1976)

El área de estudio pertenece a una Eco-región Pastizal Pampeano. La misma comprende la región del centro-este de Argentina, ocupando el centro-norte de La Pampa, centro de San Luis, sur de Córdoba, sur de Santa Fe, Buenos Aires, sur y este de Entre Ríos, este y nordeste de Corrientes y sur de Misiones. Esta Eco-región también se extiende al sur de Brasil y todo Uruguay. Se caracteriza por poseer relieves llanos o suavemente ondulados, además cuenta con la presencia de pastizales con gran diversidad de gramíneas y herbácea.

Por otro lado, la región zoogeográfica a la que pertenece el área de estudio es Provincia Pampeana Dominio Subtropical, en el límite con el Dominio Pampanico, que corresponde al límite meridional, margen rioplatense de Buenos Aires.

8.6.2.2. Flora

La principal vegetación del área de estudio son las gramíneas, constituyendo una estepa la cual posee dos periodos bien distintos. Por un lado, el invierno con los fríos intensos y otro en verano con las sequías y calores extremos. Dado a estas diferencias, la cobertura de vegetación varía según la época del año. Donde a fines de invierno y principios de primavera esta es máxima mientras que se reduce durante el verano y otoño. En presencia de lagunas, la vegetación que prevalece son los juncuales y herbáceas palustres de gran porte. Por otro lado, existen bosques de poca diversidad, característicamente dominados por el tala.

Hacia los márgenes del río Luján, se observa una baja diversidad, predomina un tapiz de especies herbáceas, entre ellas el vinagrillo (*Oxalis* sp.) y algunas leñosas, como el fresno americano (*Fraxinus americana*) o la ligustrina (*Ligustrum sinensis*). También se observan especies hidrófilas típicas como la redondita de agua (*Hydrocótyle bonariensis*) y la oreja de ratón (*Dichondra repens*). Por otro lado, en la ribera del río Luján se encuentran el ceibo, el sauce criollo, y el aliso de río, es decir, vegetación característica del delta del Paraná. Además, predomina la Acacia Negra (*Gleditsia triacanthos*) un árbol exótico e invasor. (Ambiente y Territorio SA, 2017)

Cabe destacar que la vegetación original fue fuertemente modificada por medio del hombre ya que en esta región sufrió de un gran crecimiento urbano. Dentro de las modificaciones que sufrió la zona, encontramos la invasión por especies exóticas, como la acacia negra, la mora, los treboles de carretilla, el cardo, el cardo de castilla, el lirio amarillo o la avena silvestre.

8.6.2.3. Fauna

Entre los mamíferos de mayor tamaño están el carpincho y el coipo (*Myocastor coypus*). Por otro lado, los bosques de albardón son el refugio de la comadreja overa (*Didelphis albiventris*), mientras los pajonales son habitados por la comadreja colorada (*Lutreolina crassicaudata*). Además, podemos encontrar al gato montés (*Felis geoffroyi*) y al zorro de monte. En cuanto a los vertebrados más pequeños se encuentran los cuisés (*Cavia pamparum*), Tuco tucos (*Ctenomys sociabilis*), ratones de campo (*Akodon azarae*), habitan la mayoría de los ambientes presentes.

Las aves típicas del pastizal pampeano son el ñandú (*Rhea americana*), las perdicés inambúes (*Rynchotus rufescens* y *Nothura maculosa*), el chajá (*Chauna torquata*), el tero (*Vanellus chilensis*), entre otras. En el partido de Pilar se encuentran aves de tipo subtropical como lo son el Macá Pico Grueso (*Podilymbus podiceps*), Biguá (*Phalacrocorax olivaceus*), Aninga (*Anhinga anhinga*), Mirasol Común (*Ixobrychus involucris*), Hocó Colorado (*Tigrisoma lineatum*), diferentes especies de garzas, anseriformes (patos), caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), chiricote *Aramides cajanea*, Pava de Monte Común (*Penelope obscura*), entre otros.

Los reptiles que se destacan en el área de estudio son la tortuga de agua dulce (*Hydromedusa tectifera*), el lagarto overo (*Tupinambis teguixin*), el lagarto ápedo, diversas culebras, la viorita ciega (*Amphisbaena* sp.), la culebra verde (*Chlorosoma* sp.) y la falsa yarará (*Tomodon* sp.). Por otro lado, los anfibios que se encuentran el escuerzo (*Ceratophrys* sp.), la rana criolla (*Leptodactylus* sp.) y el sapo común (*Bufo arenarum*). Los reptiles y anfibios presentes se encuentran altamente amenazados debido al creciente aislamiento y fragmentación de los ecosistemas en los que habitan y a las barreras biogeográficas que limitan su dispersión y repoblamiento.

Dentro de los peces, encontramos al Pez Dorado (*Salminus brasiliensis*), Sábalo (*Prochilodus lineatus*), Pez Amarillo (*Pimelodus maculatus*) entre otros.

Por último, de las especies previamente mencionadas cabe destacar que se encuentran especies casi amenazadas como el ñandú (*Rhea americana*), en peligro crítico el Tuco tucos (*Ctenomys sociabilis*) y como de preocupación menor Carpincho, coipo, Zorro de monte y el Gato montés.

8.6.2.4. Áreas Protegidas

En el partido de Pilar se encuentra la reserva natural del Pilar (RNP) es un espacio verde protegido situado en la planicie de inundación del río Luján, en el partido del Pilar, nordeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, al noroeste del área de conurbación Gran Buenos Aires. La misma se ubica a 7km del centro de Pilar y a 15km de la industria de productos para el cuidado del hogar. La Reserva Natural del Pilar es el refugio de diversas especies de aves, mamíferos, peces, reptiles, insectos y de flora nativa. Esta reserva tiene como objetivo la valoración de los ambientes naturales para la educación y protección de los tres ambientes distintivos de las eco-regiones presentes, las cuales son el pastizal, bosque ribereño y lagunas. De esta manera se promueve la biodiversidad y desarrolla allí

investigaciones biológicas y paleontológicas y constituye un espacio viable y sustentable para la protección de la fauna y flora nativa.

8.6.3. Línea de base socio económica

La ciudad de Pilar se halla a de latitud sur y de longitud oeste, junto al río Luján. Está situada a 54 km al noroeste de Capital Federal. El mismo limita con los partidos de Campana, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, Luján, Malvinas Argentinas, José C. Paz y Moreno. El área del partido es de 352 Km².

8.6.3.1. Población

De los 352 km² totales del municipio de Pilar su mayoría pertenecen a áreas urbanas, esto se puede observar en la figura 8.9. Esta zona tiene una densidad poblacional de 850 hab/km². La variación intercensal de la población entre el Censo Nacional 2001 y el 2010, refleja un incremento de un 28% de la población, existiendo en el año 2001 una población de 232.463 y en el año 2010 de 298.191 habitantes. Por otro lado, el último censo indica un total de población de 395.072 habitantes aumentando en un 32%. La tasa de desocupación es del 5,8% y el municipio cuenta con el 13% de la población con necesidades básicas insatisfechas.

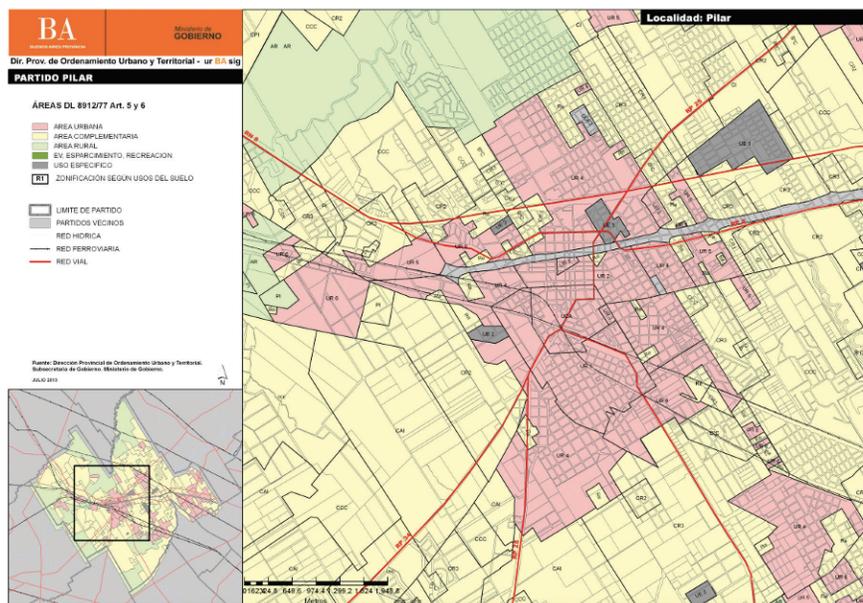


Figura 8.10: Mapa del Municipio según su ocupación. Fuente: INDEC

En las tablas 8.7 y 8.8 se observan datos del último censo del 2022, dichos datos son preliminares sobre el total de habitantes, tipo de viviendas y sexo. En el municipio de Pilar un 46% son hombres mientras que 50% mujeres. La tasa de crecimiento poblacional es del 3% anual.

Tabla 8.7 : Tipo de viviendas en el municipio de Pilar. Datos extraídos censo 2022

Partido	Total de viviendas particulares	Total de viviendas colectivas	Total de población en el municipio	Población en viviendas particulares	Población en viviendas colectivas
Pilar	137.425	46	395.072	393.653	1.419

Tabla 8.8 : Sexo de los habitantes del municipio de Pilar. Datos extraídos censo 2022.

Partido	Total de población	Sexo femenino	Sexo masculino	Sexo: Ninguno de los anteriores
Pilar	393.653	200.981	192.632	40

En el ámbito educativo de Pilar, hay un total de 366 establecimientos. De estos, el 46% son de gestión estatal, lo que cubre aproximadamente el 60% de los estudiantes, totalizando 63,678. Por otro lado, el 54% son de gestión privada, atendiendo al 40% restante de los estudiantes, que suman 43,868.

En cuanto a la distribución de estudiantes por niveles educativos:

- El 14,32% está en el nivel inicial.
- El 29,82% corresponde al nivel secundario.
- Un 2,59% está matriculado en instituciones de nivel superior.
- El 7,55% participa en programas de educación para adultos y formación profesional.
- Un 1,21% recibe educación especial en todos los niveles.
- El 0,18% está involucrado en programas de psicología comunitaria y pedagogía social.

- Y finalmente, el 0,86% se enfoca en actividades relacionadas con la educación física.

En cuanto al sistema de salud, en el municipio de Pilar, se cuenta con una infraestructura de salud que incluye diversos tipos de establecimientos:

- Tres Establecimientos con Internación: Hay un total de 265 camas disponibles para internación. Esto incluye el Hospital Municipal Central Dr. Juan Sanguinetti, el Hospital Dr. R. Falcón, y el Hospital Materno Infantil Cro. Hugo Meissner.
- Treinta y un centros de Salud y Unidades Sanitarias sin Internación: Estos centros proporcionan atención médica pero no cuentan con capacidad para internación de pacientes.
- Veintidós centros de Salud Privados, Centros de Tratamiento General, Centros Especializados y Centros de Diagnóstico y Laboratorio de Obra Social (U.O.M.): Estos establecimientos ofrecen una variedad de servicios médicos, que van desde el tratamiento general hasta servicios especializados y pruebas de diagnóstico.

8.6.3.2. Infraestructura y servicios

Según datos del INDEC, en Pilar se observan varias deficiencias en los servicios básicos. Por ejemplo, solo el 35,6% de los hogares tienen acceso al agua potable a través de la red pública, lo que significa que más del 64% depende de pozos u otras fuentes alternativas como el agua embotellada. En cuanto al desagüe de los inodoros, solo el 24,4% de los hogares están conectados a la red pública de cloacas. Además, solo el 41,2% de los hogares tienen acceso a gas natural o electricidad para cocinar, lo que implica que casi el 60% debe recurrir a otras opciones, como el uso de garrafas.

En términos de vivienda, el 69,6% de los hogares son de propiedad propia. En cuanto a la conectividad, el 80,7% de las viviendas tienen acceso a Internet, el 92,1% posee un teléfono celular con conexión a Internet, y el 58,6% tiene una computadora o tablet. En lo que respecta a las instalaciones sanitarias, el 96,1% de los hogares tienen un baño o letrina dentro de la vivienda, el 30,2% disponen de dos o más baños, y el 84,2% cuentan con un baño que tiene un inodoro con sistema de descarga de agua. Finalmente, el 82,3% de las viviendas en Pilar tienen pisos con revestimiento, según los datos del INDEC.

En cuanto a las necesidades básicas insatisfechas, el partido de Pilar presenta un alto nivel de pobreza con hogares que padecen alguna de las 5 condiciones que determinan la presencia de este indicador y representa el 9% del total. Los valores de este municipio se ubican por encima del promedio provincial de 8,19 % en el año 2010. (Figura 8.11)

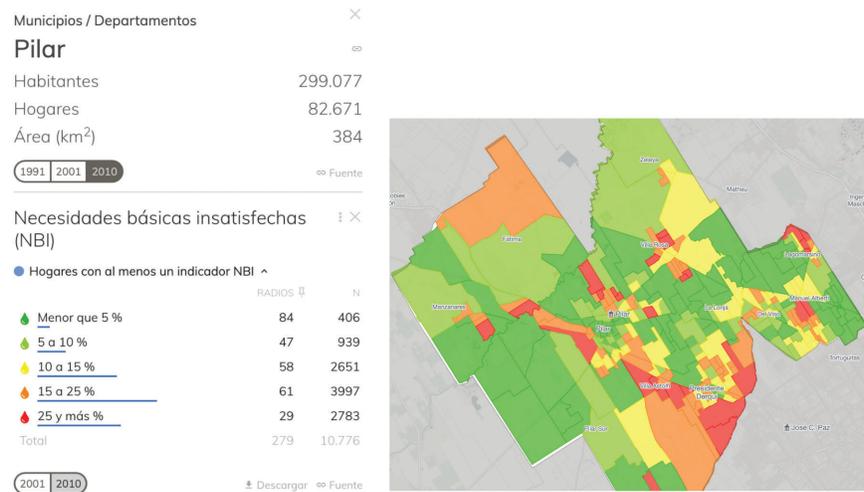


Figura 8.11: necesidades básicas insatisfechas fuente

<https://mapa.poblaciones.org/map/#/@-34.411873,-58.775482,10z&r13878/l=3401!v1!a2!w0>

8.6.3.3. Ordenamiento territorial

La disposición y desarrollo de la infraestructura urbana, así como la planificación del uso del suelo, tienen un impacto directo en la calidad de vida de los habitantes y en el entorno urbano en general, ya que están estrechamente relacionados con la interacción de la sociedad con su entorno. En la figura 8.11 se observa un mapa del municipio con las áreas según la ORDENANZA N°255/18.

A partir del análisis visual de imágenes satelitales proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar y la figura 8.10 mencionada anteriormente, se pueden identificar cuatro categorías principales de uso del suelo en el municipio de Pilar, cada una con subdivisiones:

- Superficies Artificiales: Este grupo abarca áreas urbanas, tanto industriales continuas como discontinuas (concentradas en el parque industrial y dispersas en otras zonas del partido), áreas comerciales y de transporte (principalmente asociadas a la urbanización y las principales vías de comunicación), así como minas, canteras, y zonas de construcción. También

se incluyen áreas verdes artificiales y reservas municipales y fiscales, que suman aproximadamente 300 hectáreas.

- Áreas Agropecuarias: Este grupo engloba tierras dedicadas a la agricultura y ganadería, así como áreas de cultivo hortofrutícola en secano.
- Bosques y Áreas Seminaturales: Incluye espacios verdes naturales, como la selva marginal del río Luján y reservas ecológicas que cubren unas 44 hectáreas en la margen derecha del mismo río.
- Cuerpos y Cursos de Agua: Aunque el municipio cuenta con múltiples cursos de agua, el más destacado es el río Luján y su amplio valle de inundación, con un promedio de ancho de unos 2 kilómetros.

Además, se recolectó información sobre la utilización de los suelos en la página oficial del municipio de Pilar. Evidenciando en la figura 8.11 que la localidad de Fátima en donde se radica el parque industrial y la planta de tratamiento a emplazar se encuentra en una zona exclusivamente industrial.

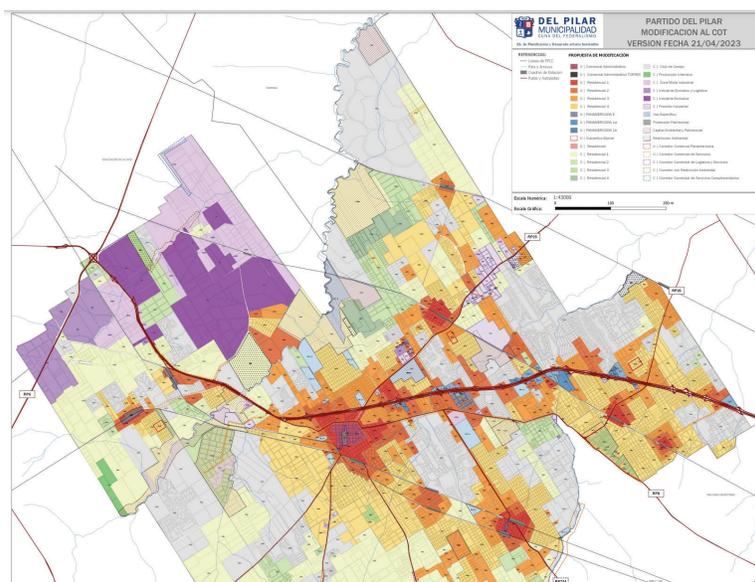


Figura 8.12: Plano de delimitación de zonas, código de ordenamiento territorial. Fuente: <https://pilar.gov.ar/cot/>

8.6.3.4. Valores culturales

El municipio de Pilar alberga una serie de lugares de valor cultural que reflejan su rica historia y patrimonio. Entre estos lugares destacan la histórica Capilla del Señor, construida en el siglo XVIII y considerada uno de los edificios religiosos más antiguos de la

región. Además, el Museo de Pilar exhibe una colección de arte y objetos históricos locales y regionales, ofreciendo una ventana al pasado de la zona. La Casa de la Cultura y el Centro Cultural Federal son espacios con una variedad de actividades culturales, desde exposiciones de arte hasta conciertos y obras de teatro. Además, el municipio cuenta con sitios arqueológicos que muestran evidencia de la presencia humana desde tiempos prehistóricos, añadiendo profundidad a su legado histórico. Por otro lado, el municipio ofrece actividades en la reserva natural de pilar donde los habitantes y visitantes pueden disfrutar de la naturaleza.

8.7. Identificación y evaluación de impactos ambientales

8.7.1. Metodología

Se identificaron los impactos que puede traer el proyecto, tanto positivos como negativos, para cada acción de cada etapa. A partir del método combinado Vicente Conesa Fernández - Vítora se los cuantificó para realizar una matriz de impactos. Este método cuantifica los impactos otorgando valores individualmente a atributos utilizados de manera combinada. Los atributos son:

- Signo: se refiere a si es un impacto positivo (+), beneficioso para el ambiente o si es negativo (-) perjudicial para el ambiente.
- Intensidad (i): se refiere al grado probable de destrucción sobre el factor considerado. Puede ir de 1 si es bajo a 12 si es total.
- Extensión (ex): se refiere al área de influencia del impacto. Puede ser: 1 puntual, 2 parcial, 4 extenso, 8 total, 12 críticas.
- Momento (mo): se refiere al tiempo que pasa entre la acción y la aparición del impacto. Será 1 si es a largo plazo, 2 si es a mediano plazo, 4 inmediato, y 8 crítico, si el tiempo que pasa es nulo.
- Persistencia (pe): se refiere al tiempo de permanencia del efecto una vez generado el impacto. Si es menos de un año será fugaz tendrá valor 1, si dura menos de 10 años será temporal tendrá valor 2, si dura más será permanente y tendrá un valor de 4.
- Reversibilidad (rv): se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado. Si es menos de dos años será corto plazo tendrá un valor de 1, si es menos de diez años será medio plazo tendrá un valor de 2, si tarda más o es irreversible tendrá un valor de 4.

- Sinergia (si): se refiere a si ocurre un reforzamiento de dos o más efectos simples. Si no es sinérgico tendrá valor 1, si es sinérgico un valor de 2 y si es muy sinérgico un valor de 4.
- Acumulación (ac): da idea del incremento del efecto cuando persiste la acción. Puede ser 1 si es simple o 4 si es acumulativo.
- Efecto (ef): se refiere a la forma de manifestación del efecto. Puede ser indirecto 1 o directo 4.
- Periodicidad (pr): se refiere a la regularidad de manifestación del efecto. Puede ser cíclica o recurrente tendrá valor 2, impredecible o irregular, tendrá valor 1, o constante o continuo de valor 4.
- Recuperabilidad (mc): se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor con intervención de las personas. Si se recupera inmediatamente será 1, si es a mediano plazo 2, si es mitigable que no se recupera totalmente 8 y si es irrecuperable 10

Una vez evaluado cada uno de los aspectos mencionados anteriormente, se obtiene el valor final a través de la ecuación 8.1.

$$I = + / - (3i + 2ex + mo + pe + rv + si + ac + ef + pr + mc)$$

En la tabla 8.9 se observan los valores predeterminados para evaluar los aspectos y en la tabla 8.10 la Escala colorimétrica para los impactos de acuerdo a su valor.

Tabla 8.9 : valores predeterminados para evaluar los aspectos

Intensidad		Extensión		Momento	
Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor
Baja	1	Puntual	1	Largo plazo	1
Media	2	Parcial	2	Mediano plazo	2
Alta	3	Extenso	4	Inmediato	4
Muy alta	8	Total	8	Crítico	8

Total	12	Crítica	12
-------	----	---------	----

Persistencia		Reversibilidad		Sinergia	
Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor
Fugaz	1	Corto plazo	1	Sin sinergismo	1
Temporal	2	Mediano plazo	2	Sinérgico	2
Permanente	4	Irreversible	4	Muy sinérgico	4

Periodicidad		Efecto		Acumulación	
Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor
Irregular	1	Indirecto	1	Simple	1
Periódico	2	Directo	4	Acumulativo	4
Continuo	4				

Recuperabilidad	
Clasificación	Valor
Recuperable inmediatamente	1
Recuperable a mediano plazo	2
Mitigable	8
Irrecuperable	10

Tabla 8.10 : Escala colorimétrica para los impactos de acuerdo a su valor.

Valoración	Clasificación
Impacto positivo (+)	Positivo
≥ -25	Leve
Entre -25 y -50	Moderado
Entre -51 y -80	Severo
< -80	Alto

8.7.2. Identificación de acciones y factores

Por medio del apartado correspondiente a la descripción del proyecto se confecciona la tabla 8.11 en donde se encuentran todas las acciones identificadas que tienen lugar en cada etapa del proyecto. Por otro lado, en la tabla 8.12 se identifican los factores ambientales que potencialmente pueden ser impactados por las acciones de cada etapa del proyecto.

Tabla 8.11: Acciones identificadas según etapas del proyecto.

ETAPAS	Componentes
	Acciones
Construcción	Preparación del terreno
	Excavación y Nivelación
	Maquinaria
	Construcción
	Desocupación de obras temporales
	Manejo de residuos
Operación	Puesta en marcha
	Mantenimiento y limpieza
	Vuelco de efluente
	Manejo de químicos
	Gestión de lodos y residuos
Cierre	Demolición
	Restauración

Tabla 8.12: Factores ambientales identificados en el área de influencia del proyecto.

Medio Natural	Aire	Calidad del aire
		Ruido
	Agua	Capacidad de recarga del acuífero
		Escorrentía superficial
		Calidad de agua superficial
	Suelo	Contaminación por desechos
		Vibraciones
	Biológico	Cobertura de vegetación
		Abundancia y diversidad de la fauna
	Medio social y económico	Socioeconómico
Generación de empleo		
Salud		

8.7.3. Identificación de los impactos

Etapa de construcción

En la etapa de construcción se realizarán diversas actividades las cuales podrían tener un impacto en el medio natural y socioeconómico. Las actividades llevadas a cabo durante esta etapa podrían afectar la fertilidad y estructura del suelo debido a los procesos de compactación e impermeabilización del mismo para la construcción de la planta de tratamiento. Esta etapa es de corta duración siendo esta entre 6 meses a un año. No obstante, durante la fase de acondicionamiento del terreno, parte de las acciones son remover los horizontes superficiales del suelo, reduciendo la permeabilidad del mismo y generando modificaciones en la flora superficial y la fauna, contemplando a la microbiota del ecosistema suelo. Asimismo, el cambio del uso de suelo conlleva una modificación en su rol en el ciclo del agua afectando la escorrentía superficial y recarga de acuíferos propia de la zona. Por otro lado, la generación de polvos podría afectar la calidad del agua superficial.

Para llevar a cabo la construcción se implementarán maquinarias y vehículos las cuales generarían gases de combustión que podrían afectar a la calidad del aire. Este medio también se vería afectado por la emisión de material particulado generado durante estas actividades. Por otro lado, durante esta etapa se producirán también ruidos y

vibraciones. Estos están principalmente asociados a la etapa de montaje de las estructuras principales de la planta de tratamiento y la creación de los accesos. Además, habrá un aumento de tráfico de tránsito pesado, lo que podría ahuyentar a las especies locales de avifauna de manera temporal. El acopio y manejo de escombros podría afectar la calidad del aire, del agua superficial, del suelo y del lecho, también incidir sobre flora y fauna con motivo de la generación de polvo.

Etapa de operación

La etapa de operación se basa en el funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de una industria dedicada a la producción de productos para el cuidado del hogar. A la misma llegan los efluentes que se producen en las etapas de elaboración y envasado generados por lavados de tanques y cañerías.

En cuanto al efecto que tendrá la planta de tratamiento de efluentes no puede considerarse positivo el vuelco de efluente industrial aunque sea tratado ya que se le está introduciendo al río Luján un efluente con trazas mínimas de contaminantes. Por otro lado tampoco se considera como negativo si el tratamiento es realizado correctamente. Podría considerarse negativo en caso de que se trate de un error en el funcionamiento y por lo tanto un caso de emergencia.

Durante esta etapa se puede afectar al aire por medio de emisiones atmosféricas proveniente de la combustión de vehículos y material particulado. Además, cabe destacar que se utiliza en el proceso cal (hidróxido de calcio) la misma se caracteriza por ser arcillosa por lo que factores ambientales como el viento podría provocar que la misma se esparza. Por otro lado, al tratarse también efluente cloacal es probable que se generen olores. También el paso de camiones y maquinaria como los sopladores emiten ruidos al ambiente.

En cuanto al suelo, la entrada y salida de vehículos, productos químicos almacenados, la generación de residuos sólidos y las vibraciones causadas por la maquinaria pueden afectar a la calidad del suelo, la fauna y flora.

Etapa de cierre

Durante la etapa de cierre la calidad del aire se verá afectada durante los procesos de demolición, debido a los grandes movimientos de escombros que emiten material particulado a la atmósfera y a la utilización de máquinas pesadas que emiten contaminantes gaseosos. Además, el movimiento de maquinarias grandes y pesadas para el proceso de demolición involucra una generación de ruidos y vibraciones. Esta etapa afectará a su vez

flora y fauna de manera indirecta por la afectación a su hábitat. Por otro lado, se generarán residuos de tipo domiciliario, peligrosos en caso de reactivos fuera de uso, de construcción y demolición. Estos impactarán al suelo de manera negativa, destruyendo la vegetación, fertilidad y estructura aunque de manera temporal. Por otro lado, el agua también podría verse afectada, especialmente su calidad, debido a los polvos o residuos provenientes de la demolición. En cuanto al empleo y salud, la demolición y desmantelamiento del sitio traerá consigo empleo de forma temporal.

La etapa de restauración supone una reconfiguración del suelo y del paisaje, pudiendo afectar el balance hídrico de la zona, la calidad del suelo y su morfología; así que como también involucra la restauración de fauna y flora, pudiendo afectar la biodiversidad de especies, la calidad el paisaje y la salud de la población. Es por esto que la restauración del predio traerá consigo beneficios para el ecosistema natural de la zona. Por último, en cuanto al medio socio-económico, habrá pérdida de empleo que se había generado por la industria y la pérdida de infraestructura de la zona reduciendo la calidad de vida y salud de la población.

8.7.4. Evaluación de los impactos ambientales

Los impactos para cada una de estas etapas fueron evaluados en función de los atributos, puntuándolos según se detalló en la metodología. A continuación en la tabla 8.13 se presenta la matriz de impacto completa, para cada acción de cada etapa, para cada factor

Los impactos más significativos, obtenidos a través de la importancia media neta son: el ruido, calidad de aire, la escorrentía superficial y vibraciones, estos se ven impactados por la etapa de construcción y cierre. Principalmente, por las acciones de la preparación del terreno, excavación y nivelación, uso de maquinaria , construcción y demolición. El impacto más alto, severo , es por la construcción de las unidades de la planta de tratamiento. Otros componentes que también poseen impactos significativos son la flora, fauna y paisaje en la etapa de cierre del proyecto.

En su generalidad, la mayoría de los impactos entran en la categoría de moderados, por lo que la afectación es irrelevante. En cuanto a la categoría de moderados los mismos no requieren prácticas correctoras. En la categoría de severo, encontramos 10 componentes afectados, allí es donde se deben realizar prácticas correctoras. Cabe

destacar que encontramos impactos positivos para este proyecto en cuanto a los aspectos socioeconómicos como el empleo y calidad de vida.

IMPORTANCIA		Factores ambientales y sociales											IMPORTANCIA MEDIA POR FACTOR	
		Medio Natural						Medio social y economico SOCIOECONOMICO						
ETAPAS	Componentes	AIRE		AGUA		SUELO		BIOLOGICO		Paisaje	Generacion de empleo	Salud		
	Acciones	Calidad del aire	Ruido	Capacidad de recarga del acuífero	Escorrentia superficial	Calidad de agua superficial	Contaminacion por desechos	Vibraciones	FLORA Cobertura de vegetacion				FAUNA Abundancia y diversidad de la fauna	
Construcción	Preparacion del terreno	-36	-37	-35	-43		-42	-59	-44	-44	-30			-370
	Excavacion y Nivelacion	-53	-37	-37	-63		-42	-59	-38	-38	-27		-25	-419
	Maquinaria	-47	-37	-37				-59	-40	-43	-27		-25	-315
	Construccion	-61	-35	-43	-30		-34	-61			-28		-26	-318
	Desocupacion de obras temporales	-24	-33				-31							-88
	Manejo de residuos	-30	-33				-30				-27		-29	-149
Operación	Puesta en marcha	-40	-38	-38										-116
	Mantenimiento y limpieza	-34	-35		-25		-22						-23	-139
	Vuelco de efluente					-42							-22	-64
	Manejo de quimicos	-26				-31	-22						-27	-106
	Gestion de lodos y residuos	-37	-29								-27		-27	-120
Cierre	Demolicion	-49	-51	-16	-19		-53	-56		-31	-49		-26	-350
	Restauracion												-25	-25
IMPORTANCIA MEDIA POR ACCION		-437	-365	-206	-180	-73	-276	-294	-122	-156	-215	0	-230	

Tabla 8.13: Matriz de impactos ambientales

8.8. Análisis de riesgo

8.8.1. Metodología

En el siguiente capítulo se detalla el análisis de riesgo para el proyecto, se evalúan las posibles amenazas, daños y consecuencias que estas puedan producir. El riesgo se evalúa mediante la multiplicación de dos parámetros, estos son el grado de certidumbre o probabilidad y la magnitud de los daños. El proceso de estimación de cada riesgo se encuentra detallado en el a continuación. Se asigna para cada valor de riesgo, un color para facilitar la identificación de los mismos, siendo el color verde aceptable, amarillo tolerable y el color rojo inaceptable. El riesgo se calcula a partir de la siguiente ecuación 8.2 donde R es el riesgo, C es el grado de certidumbre que varía entre 0 y 1 y M es la magnitud que varía entre 1 y 5

$$R = C * M \text{ (ecuación 8.2)}$$

La aceptabilidad del riesgo surge de la combinación del Grado de Certidumbre con la Magnitud según el cálculo matemático precedente. Los valores numéricos que se corresponden a cada tipo de impacto definido son clasificados de acuerdo a las siguientes categorías que a su vez se observan en la figura 8.13

- Aceptable: Un incidente aceptable significa que la combinación de grado de certidumbre-magnitud no representa un riesgo significativo, por lo que no amerita la inversión inmediata de recursos y no requiere una acción específica para la gestión sobre el factor de vulnerabilidad considerado. Cuantitativamente representa riesgos con valores comprendidos entre 0 y 1,6 puntos.

- Tolerable: Un incidente tolerable significa que, aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, éstas tienen una prioridad de segundo nivel. Cuantitativamente representa riesgos con valores entre 1,7 y 3,3 puntos.

- Inaceptable: Un incidente inaceptable significa que se requiere siempre desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión, debido al alto impacto que tendrían sobre el sistema. Cuantitativamente representa valores de riesgo entre 3,4 y 5 puntos.

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
		LEVE	MEDIA	ALTA	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE
PROBABILIDAD	0.1	IMPOSIBLE				
	0.2	IMPROBABLE				
	0.4	REMOTO				
	0.6	OCASIONAL				
	0.8	MODERADO				
	1	FRECUENTE				

	ACEPTABLE		TOLERABLE		INACEPTABLE
--	-----------	--	-----------	--	-------------

Figura 8.13: Gravedad y Probabilidad para la valoración del riesgo.

8.8.2. Valoración de los riesgos

Los principales incidentes que fueron analizados según su riesgo son inundaciones, infiltración cloacal a las napas subterráneas e incendio. Se realizó una matriz en la que se enumeran todos los incidentes que podrían ocurrir, su grado de certidumbre y su magnitud presentados en la tabla 8.14.

Tabla 8.14: Matriz de riesgo.

Escenario de Contingencia	Valoración del Riesgo		
	Probabilidad	Magnitud	C * M
Inundación	0,4	2	0.8
infiltración de efluente al suelo	0,2	4	0.8
Derrame de sustancia química	0,2	4	0.8
Vuelco del efluente mal tratado	0,3	3	0,6
Incendio	0,4	5	2
Accidentes laborales	0,6	3	1,8

El primer escenario planteado fue una inundación debido a un temporal climático extremo, esto lleva a dos escenarios de contingencia los cuales son la crecida del río Luján y la saturación de la red pluvial urbana. Esto llevaría a causar otros sucesos como desbordamiento, inundación del terreno y rebalse de unidades de la planta de tratamiento.

Otro incidente planteado fue una infiltración del efluente por medio de las unidades que se encuentren enterradas. Esto puede ser causado por rajaduras o deterioro del material. La infiltración podría darse tras un aumento inesperado del efluente a tratar y saturación de la capacidad de la planta de tratamiento de efluentes líquidos o por una mala operación y mantenimiento de la planta. Un incidente similar, en donde hay una posible contaminación del suelo y pone en riesgo a la salud de los trabajadores es un derrame de sustancias químicas utilizadas en el proceso de operación. Esto puede darse a varios factores, principalmente humanos como prisa, exceso de confianza o algún factor ambiental.

La ineficiente operación de la planta de tratamiento puede traer consigo un efluente mal tratado o que no se encuentre con los parámetros establecidos por la norma. Como consecuencias se encuentra la contaminación del río superficial y de las napas generando una pérdida de la calidad del agua.

Por último se planteó la ocurrencia de un incendio, debido a condiciones climáticas,

descuido humano, sabotaje o desperfectos en tableros eléctricos. El inicio del fuego provocará diversas consecuencias , la primera es el esparcimiento del fuego a zonas aledañas, la liberación de humo y pérdidas de materiales. Además esto perjudica la calidad del aire, la pérdida de los suelos y pérdida de bienes económicos.

8.9. Medidas de mitigación

A continuación se presentan las medidas de mitigación para los impactos negativos que fueron identificados en los capítulos anteriores. Las mismas se pueden clasificar en:

- Preventivas: Acciones que deben ser consideradas para que un impacto negativo se minimiza o anula.
- Correctivas: Reparar las consecuencias producidas por los impactos negativos.
- Mitigadoras: Recupera aquellos recursos que hayan sido impactados negativamente.
- Compensadoras: Equilibra el efecto causado por los impactos negativos identificados con alguna medida contrarrestante.

Con el objetivo de lograr la mínima afectación de los valores ambientales y asegurar una buena relación entre la planta de tratamiento de efluentes industriales y el medio que le rodea se adoptan las siguientes medidas las cuales se enlistan en las tablas 8.15 a 8.22.

Tabla 8.15: Medida de mitigación número 1

Medida nº 1	Conservación de la estructura del suelo
Clasificación	Preventiva
Etapa	Construcción
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de la calidad del suelo • Afectación de la calidad del paisaje • Afectación en el uso del suelo
Acción propuesta	Conservar las distintas capas del suelo extraído, principalmente en las tareas de movimiento de suelo y preparación del mismo, de modo de que sea

	restituido en la secuencia original cuando se proceda a la reconfiguración del terreno.
Monitoreo de control	Será llevado a cabo por el organismo de autoridad provincial en materia ambiental y la implementación de la misma se encuentra bajo responsabilidad del contratista.

Tabla 8.16: Medida de mitigación número 2

Medida nº 2	Control de emisión de polvos
Clasificación	Preventiva
Etapa	Construcción
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de la calidad de agua de los cuerpos cercanos, principalmente el Arroyo las pulgas y el río Luján • Afectación a la calidad de vida y salud de la población cercana
Acción propuesta	Sectorizar y organizar los diferentes ambientes dentro de la obra, de acuerdo con su zonificación de uso donde se establezcan los límites para el acopio de materiales y escombros de manera que ante las condiciones climáticas los mismos no se trasladen a los cuerpos de agua o zonas residenciales del municipio de Pilar.
Monitoreo del cumplimiento	Se realizará de manera mensual medición de calidad de aire.

Tabla 8.17: Medida de mitigación número 3

Medida nº 3	Control de emisión de GEIs
Clasificación	Preventiva
Etapa	Construcción, Operación y Cierre
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación a la calidad de vida y salud de la población cercana

Acción propuesta	Establecer límites de velocidad para vehículos y maquinaria. Utilización de maquinarias eléctricas para la construcción y cierre. En cuanto a la operación se dispondrá de estaciones de carga de vehículos eléctricos.
Monitoreo del cumplimiento	Se realizará de manera mensual medición de calidad de aire.

Tabla 8.17: Medida de mitigación número 4

Medida n° 4	Control Ruidos y vibraciones
Clasificación	Preventiva
Etapa	Construcción y Cierre
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Ahuyentar la fauna local, principalmente la avifauna del área de influencia • Daño a la salud de los operarios
Acción propuesta	Sectorizar y organizar los diferentes ambientes dentro de la obra, de acuerdo con su zonificación para actividades ruidosas. Incorporar tecnologías modernas con baja generación de ruido en vehículos, maquinaria y equipos. Los trabajadores deben utilizar los protectores auditivos como parte de los elementos de protección personal en todo momento.
Monitoreo del cumplimiento	Se realizará de manera mensual medición de calidad de ruidos. Se educará al personal en la importancia y obligatoriedad del uso de los elementos de protección personal.

Tabla 8.18: Medida de mitigación número 5

Medida n° 5	Restauración de la vegetación
Clasificación	Mitigación
Etapa	Construcción, operación y Cierre
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Daño permanente a la calidad y estructura del suelo • Pérdida de flora autóctona • Pérdida de vegetación • Alteración permanente del ecosistema local
Acción propuesta	Plantación de especies autóctonas nativas en el área del predio. Especialmente en los jardines de espacio común, accesos y calles dentro del barrio. Al cierre,

	luego de la demolición de las estructuras también se debe realizar una plantación de vegetación en las áreas donde se ubican las viviendas.
Monitoreo del cumplimiento	Seguimiento de la recuperación de la vegetación por parte del proponente una vez ejecutada la fase de operación.

Tabla 8.19: Medida de mitigación número 6

Medida n° 6	Mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos
Clasificación	Mitigación
Etapa	Operación
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del río Luján por derrame de efluentes cloacales de la planta de tratamiento.
Acción propuesta	Instalación de una planta de tratamiento de efluentes acorde a los volúmenes y caudales a tratar. Asegurarse que el efluente luego del tratamiento cumpla con los parámetros de salida acordes a los límites establecidos por la autoridad de cuenca. Realizar controles periódicos para evitar derrames accidentales con altas concentraciones de materia orgánica.
Monitoreo del cumplimiento	Medición cada 5 horas de los parámetros de salida de la planta de tratamiento de efluentes con el fin de corroborar la calidad del efluente tratado, es decir, el correcto funcionamiento de la planta de manera que el efluente cumpla con las condiciones de vuelco.

Tabla 8.20: Medida de mitigación número 7

Medida n°7	Control de gestión de residuos sólidos
Clasificación	Preventiva
Etapa	Construcción, operación y cierre
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> Afecciones a la salud de los empleados Contaminación de aguas y suelos

Acción propuesta	Esquema y ubicación de cestos para separación de residuos acorde a la corriente de generación, sean reciclables o no reciclables, generales asimilables a los urbanos y por último compostables etc. Establecer composteras en el predio a fin de generar compost con los residuos orgánicos de las viviendas, disminuyendo así el volumen de residuos a disponer en relleno sanitario. Correcto almacenamiento de los residuos hasta su recolección o disposición final. Separación de residuos voluminosos de construcción tipo escombros para su disposición por separado del resto de las corrientes por operador registrado.
Monitoreo del cumplimiento	Registro de los residuos generados mensualmente, transportista a cargo y método de disposición final empleado.

Tabla 8.21: Medida de mitigación número 8

Medida n°8	Generación de superficies de infiltración
Clasificación	Compensación
Etapa	Construcción, operación y cierre
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la escorrentía superficial • Reducción de la capacidad de recarga del acuífero
Acción propuesta	Generación de áreas verdes con relieve para favorecer la infiltración del agua de lluvia y disminuir el impacto de la urbanización en la recarga del acuífero.
Monitoreo del cumplimiento	Registro visual del correcto estado de las áreas verdes.

Tabla 8.22: Medida de mitigación número 9

Medida n°9	Monitoreo de napa freática
Clasificación	Mitigación
Etapa	Operación
Impacto a evitar	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del agua subterránea
Acción propuesta	Programa de monitoreo continuo con freatómetros para detectar y gestionar de manera temprana cualquier cambio en los niveles freáticos que pueda indicar infiltraciones no autorizadas o potencialmente contaminantes.

Monitoreo del cumplimiento	Registro visual y escrito de mediciones mensuales.
----------------------------	--

8.10. Plan de contingencias

El propósito del plan de contingencia es anticiparse, reducir y solucionar cualquier emergencia relacionada con los riesgos identificados en la sección 8.8 del Análisis de Riesgos. A continuación se presenta el siguiente plan de contingencia.

8.10.1. Inundación

En el caso de que ocurra una inundación se procederá a:

- Encender bombas inmediatamente para remover el agua del suelo afectado con el fin de eliminar el excedente de agua. Este excedente será bombeado a tanques de almacenamiento y contención para su posterior tratamiento en PTEL.
- Se debe cortar el suministro eléctrico de la industria.
- Evacuar personal.
- Tratar adecuadamente los residuos que se hayan generado.

8.10.2. Infiltración o derrame de sustancia química

Ante una infiltración al suelo de efluente o un derrame por ruptura de cañerías, tanques o bidones de contención o fallas en el sistema de planta de tratamientos se deberá:

- Activar alarma.
- Bloquear las cañerías y canales próximos al derrame para evitar contaminación de cursos de agua cercanos.
- Evacuación de la zona del derrame.
- Por medio de bombas, envían el efluente derramado a un tanque de almacenamiento y contención de la planta de tratamiento.
- En caso de ser un derrame de sustancia química la brigada debe contenerlo y disponer del residuo que se genere.

- En caso de que el derrame o infiltración llegue al suelo, el mismo deberá ser removido y enviado a su correspondiente disposición. Notificar a las autoridades de la cuenca y localizar la zona afectada.

8.10.3. Vuelco de efluente en mal estado

Ante una contingencia por vertido de efluente mal tratado en el río Luján, se implementarán las siguientes acciones:

- Notificación a las autoridades: Se informará de inmediato a las autoridades ambientales pertinentes sobre el vertido y se proporcionará toda la información relevante sobre la naturaleza y el alcance del incidente. En este caso ADA y OPDS.
- Contención del vertido: Se tomarán medidas para contener el vertido y evitar su propagación en el río.
- Análisis del impacto: Se realizará una evaluación del impacto ambiental del vertido en el río Luján y en los ecosistemas circundantes. Esto ayudará a determinar la extensión del daño y a planificar las medidas de mitigación necesarias. Dependiendo del grado de contaminación deben tomar distintas acciones.
- Monitoreo continuo: Se establece un monitoreo del efluente previo al vuelco más riguroso. A fin de evitar una posible nueva contaminación.

8.10.4. Incendio

En el sector de la planta de tratamiento de efluentes en las actividades del día a día se realiza la operación de la planta con el objetivo de cumplir el vuelco de efluente con parámetros admisibles. A su vez, se contará con personal realizando actividades de mantenimiento, jardinería, entre otras. Dentro de las actividades diarias a realizar, las principales causas de un incendio podrían ser fallas en las instalaciones eléctricas. Dado a que estamos frente a una zona industrial, es importante contar con las medidas pertinentes para evitar la ocurrencia de un incendio, y también para la correcta actuación en el caso que suceda. Estas incluirán:

- Prohibido de fumar en el área de trabajo para el personal del barrio cerrado
- No encender fuegos en el perímetro de la fábrica

- Verificación mensual de los extintores, hidrantes y del estado de otros equipos de seguridad.
- Capacitación del personal para evacuación. Reconocimiento del tipo de alarmas.

Por otro lado, en caso de la ocurrencia de un incendio se debe proceder a:

- Activar alarma de incendios.
- Evacuación del personal y evitar ingreso de vehículos y personas a las instalaciones afectadas.
- Cortar energía eléctrica.
- Aviso inmediato a las autoridades de la industria, a las autoridades locales y a los bomberos.
- Combatir el foco del fuego, siempre que sea seguro hacerlo.
- Prestar primeros auxilios en caso de que sea necesario.

8.10.5. Accidente laboral

Ante un accidente laboral, se seguirán los siguientes procedimientos para garantizar una respuesta rápida y efectiva:

- Activar alarma
- Notificación y atención médica
- Aislamiento y seguridad del área
- Investigación del accidente
- Asistencia psicológica
- Comunicación interna
- Medidas preventivas
- seguimiento de acciones generadas en la investigación

8.11. Plan de gestión ambiental

8.11.1. Capacitación en materia ambiental

Programa de capacitación ambiental

Este programa se desarrollará para todas las etapas del proyecto, contempla a los trabajadores contratistas en la etapa de construcción y cierre y a los operadores de la planta y de la industria. Tiene como objetivo conocer la normativa ambiental vigente, asimilar conceptos ambientales, concientizar sobre cambio climático y dar a conocer el programa de segregación de residuos. Se entrena sobre sustancias químicas y residuos peligrosos. Las principales acciones a desarrollar son cursos y talleres llevados a cabo por una asociación sin fines de lucro llamada EcoHouse. Para las etapas de construcción y cierre las capacitaciones se realizan al comenzar. Para la etapa de operación se realizará anualmente.

8.11.2. Gestión de residuos

La gestión de residuos abarca la generación de los distintos tipos, y se debe implementar en todas las etapas. Tiene como principal objetivo separar correctamente los tipos de residuos generados para su correcta gestión.

En todas las etapas del proyecto se cuenta con un área o isla de reciclado donde se realiza la correcta segregación y tratamiento de los materiales. A su vez se cuenta con un recinto de residuos especiales. Los contenedores estarán localizados. Habrá puntos con tachos según los residuos generados.

Programa de Reciclaje

En cuanto a la gestión de residuos sólidos, las corrientes reciclables serán el aluminio, plásticos, metal, madera, papel y cartón. Para ello se contará con contenedores verdes para que los operarios puedan depositar sus residuos reciclables allí. Estos residuos reciclables serán trasladados al centro de transferencia más cercano.

Programa de residuos peligrosos

En cuanto a la gestión de residuos peligrosos los mismos pueden ser generados en las tres etapas del proyecto. Se capacita en la correcta segregación, medidas de precaución para su manejo, croquis del recinto de residuos especiales, compatibilidad de los residuos.

8.12. Viabilidad ambiental del proyecto

A raíz del estudio de impacto ambiental realizado se puede concluir que el emplazamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos es ambientalmente viable. A lo largo del estudio se plasmó la investigación de los impactos y cómo mitigarlos. Además, se recomienda seguir con los planes de gestión ambiental propuestos junto con las medidas de mitigación.

9. Planos

En la siguiente sección se exhiben los planos de cada unidad de la planta de tratamiento seleccionada para los efluentes líquidos de la industria de productos de cuidado del hogar. En el capítulo 5 “Memoria de cálculo del diseño de la planta de tratamiento de efluentes” se detallan las dimensiones de cada unidad. En total se elaboraron 10 planos en donde se demuestra la totalidad de la planta, así como las unidades de tratamiento de manera individual. En los mismos se puede observar la distribución de las unidades, las dimensiones y los accesorios empleados en cada unidad. Cabe destacar que las unidades compradas llave en mano como el filtro de bandas y las membranas del reactor MBR no presentan detalles en los planos. Por otro lado, los planos tienen un carácter ilustrativo ya que los accesorios y conducciones también adquiridas mediante terceros pueden sufrir modificaciones a la hora de llevar a cabo la construcción e instalación. Los planos confeccionados se encuentran en el Anexo X en el siguiente orden:

- Plano N1: Sistema de Rejas
- Plano N2: Ecuilizador N1
- Plano N3: Coagulación-floculación
- Plano N4: Sedimentador primario
- Plano N5: Fenton
- Plano N6: Ecuilizador N2
- Plano N7: Reactor MBR
- Plano N8: Cámara de cloración
- Plano N9: Vista superior PTEL
- Plano N10: Vista lateral PTEL

10. Conclusión

10.1. Conclusiones del proyecto

En el proyecto final integrador realizado se detalla la propuesta del diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para la industria de productos de cuidado del hogar. La misma se encuentra radicada en el parque industrial Pilar, partido de Pilar, Buenos Aires, Argentina. Para su confección se tuvo en cuenta en primer lugar, el tipo de

productos elaborados en la industria que llevan a la caracterización del efluente. A su vez en la ubicación de la planta, el cuerpo de agua receptor del efluente tratado y los parámetros admisibles de vuelco según normativa. Por otro lado se analizaron los costos asociados a la inversión inicial, operación y mantenimiento.

Dentro de las propuestas del proyecto se evaluaron dos enfoques diferentes: una más convencional que implica un proceso físico-químico de coagulación-floculación seguido de sedimentación primaria y tratamiento secundario mediante lodos activados, y otra más contemporáneo que incorpora un tratamiento primario con oxidación avanzada (Fenton) junto con un proceso biológico en un reactor de membrana (MBR). Tras considerar los parámetros mencionados anteriormente, se concluyó que la opción seleccionada para el proyecto es la alternativa 2.

Finalmente, se elabora el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), detallando los posibles impactos ambientales y riesgos asociados a la implementación del proyecto. Este documento se complementa con el Plan de Gestión Ambiental (PGA), confirmando la viabilidad técnica, ambiental, económica y social del proyecto.

10.2. Conclusiones personales

La elaboración del proyecto final integrador fue una experiencia sumamente enriquecedora tanto a nivel personal como profesional. Durante mi trayectoria universitaria, aprendí el valor de alcanzar metas tanto de manera individual como en compañía de amigos, que hoy en día llamo colegas. Estoy encantada de haber logrado este importante hito, guiada por excelentes profesionales y colmada de aprendizajes que seguramente me serán útiles en mi futura carrera como ingeniera ambiental. Este proyecto representa el cierre de una etapa extraordinaria en mi vida, por la cual siempre estaré agradecida, habiendo transitado la carrera por la Universidad Nacional de San Martín.

Bibliografía

Aboulhassan, M. A., Souabi, S., Yaacoubi, A., & Baudu, M. (2006). Removal of surfactant from industrial wastewaters by coagulation flocculation process. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 3(4), 327–332. doi:10.1007/bf03325941

Adam Muszyński, et al. (2019). Cosmetic wastewater treatment with combined light/Fe⁰/H₂O₂ process coupled with activated sludge, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 378, 2019, 120732, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.009>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389419306752>)

Autoridad del Agua. (2003). Resolución N°336/2003.

Bachur, J., & Ferrer, V. (Año). Título del documento. Gerencia de Control de Calidad (GCC), Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS) de la Provincia de Santa Fe.

Carmona, P. (2008). Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/γ-Al₂O₃/H₂O₂. Recuperado de: [URL]

Celdrán, P. (1995). Historia de las cosas. [<https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA36901622>]

Corado Revolorio, H. I. (2010). Diseño de un biorreactor de membrana para la regeneración de las aguas residuales en un establecimiento hotelero. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.

EATHISA. (2021). Ficha técnica: Mezclador ME. Recuperado de [URL]

Eckenfelder, W. W. (1999). *Industrial Water Pollution Control* (3a ed.). McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Esplugas, S., Giménez, J., Contreras, S., Pascual, E., & Rodríguez, M. (2002). Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Research*, 36(4), 1034–1042. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(01\)00301-3](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(01)00301-3)

Fortunato, M. S., Rossi, S., Korol, S., & D'Aquino, M. (1998). Eficiencia de la degradación microbiana de tensioactivos: algunos factores condicionantes. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/6992>

Francia, G. (2010). Manual de Tratamiento de Aguas Residuales.

JUAN PABLO CARRERA RODRÍGUEZ. (2021). Diseño, construcción y modelación de un reactor biológico de membranas (MBR) a escala piloto para la evaluación del tratamiento de aguas residuales de una industria farmacéutica.

Judd, S., & Judd, C. (2017). Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. CRC Press.

Korol, S. et al. (1995). Biodegradación de Efluentes Líquidos de la Industria Cosmética. <http://www.latamjpharm.org/>.

Le-Clech, P. (2010). Membrane Bioreactors and Their Uses in Wastewater Treatment. Springer.

Lindsey, M. E., & Tarr, M. A. (2000). Quantitation of hydroxyl radical during fenton oxidation following a single addition of iron and peroxide. *Chemosphere*, 41(3), 409–417. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00296-9](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00296-9)

Martins, R. C., Nunes, M., Gando-Ferreira, L. M., & Quinta-Ferreira, R. M. (2014). Nanofiltration and Fenton's process over iron shavings for surfactants removal. *Environmental Technology*, 35(18), 2380–2388. doi:10.1080/09593330.2014.906507

Monsalvo, V. M., Lopez, J., Mohedano, A. F., & Rodriguez, J. J. (2014). Treatment of cosmetic wastewater by a full-scale membrane bioreactor (MBR). *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(22), 12662–12670. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3208-x>

Martínez, John Alexander Villamil (2012) Tesis de Maestría para optar al título de Máster en Ingeniería de la Universidad de los Andes, Colombia

María Virginia Najul*, Henry Blanco¹, Alejandro Mata¹, Rosario Alberdi¹, Jimena Arcaya, Reina Rivero, Rebeca Sánchez¹, Gladys Sucic (2016). TRATABILIDAD DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE INDUSTRIAS DE COSMÉTICOS: Planta Experimental de Tratamiento de

Aguas, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela. JIFI 2018.

McCarty, P. L., Reinhard, M., & Samuelson, J. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales.

Metin, S., & Çifçi, D. İ. (2023a). Chemical industry wastewater treatment by coagulation combined with Fenton and photo-Fenton processes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 98(5), 1158–1165. <https://doi.org/10.1002/jctb.7321>

Metcalf & Eddy. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales: Principios Básicos y Tecnologías.

Naumczyk, J., Bogacki, J., Marcinowski, P., & Kowalik, P. (2013). Cosmetic wastewater treatment by coagulation and advanced oxidation processes. *Environmental Technology*, 35(5), 541–548. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.808245>

Nitsch, C., Heitland, H., Marsen, H., & Schlüßler, H. (2003). Cleansing agents. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. https://doi.org/10.1002/14356007.a07_137

Optimización de los costos de operación de la planta de tratamiento de agua residual de una industria manufacturera de productos de cuidado del hogar (jabón), cumpliendo con el Decreto Ley 236-2006 - Repositorio Institucional USAC. (n.d). <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/12117>.

Ríos Ruiz, F. (2016). Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales: Biodegradabilidad, toxicidad y ozonización. Granada: Universidad de Granada. [<http://hdl.handle.net/10481/42048>]

Salvador Mosquera, G. (2017). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria cosmética ENVAPRESS CÍA. LTDA., a través de la caracterización de los efluentes para el cumplimiento ambiental de la normativa vigente. Recuperado de [URL]

Sanchez Caro, A., & Bianchi, J. F. (2014). Modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, Provincia

Anexos

Anexo I

Anexo I Tabla I: Marco normativo nacional, provincial y municipal aplicable al proyecto en cuestión.

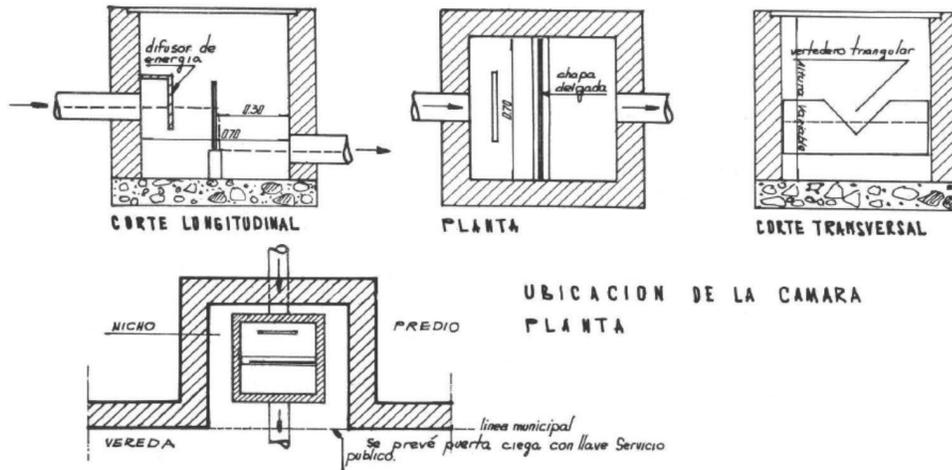
Fuente: Elaboración propia.

Legislación Supranacional	
Norma	Detalle
Ley N°25.438	Aprueba el protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
Legislación Nacional	
Norma	Detalle
Constitución Nacional Art. 41	Reconoce el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano. Hace referencia al concepto de desarrollo sustentable y al deber de preservar.
Código Civil Art. 1113	Establece la reparación de daños causados al medio natural y los perjuicios derivados de la contaminación sobre las personas y los bienes.
Ley General del Ambiente Nro 25.675 Decreto No 2.413/02	Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica, y la implementación del desarrollo sustentable.
Ley de Gestión Ambiental de Aguas No 25.688	Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
Ley Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio No 25.612	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio

	nacional, y sean derivados de procesos industriales y de actividades de servicios
Resolución 410/18	Establece manejo sustentable de barros y biosólidos
Legislación Provincial de Buenos Aires	
Norma	Detalle
Resolución de parámetros de descarga admisibles No 336-03 Autoridad del Agua	Establece los parámetros de calidad de las descargas de los límites admisibles según el destino del vuelco
Ley de creación del Comité de Cuenca del Río Luján (COMILU) No 14.710	Tiene como objetivo la realización de acciones tendientes a preservar el recurso hídrico y a gestionar el mismo de manera integrada y sostenible
Ley de Protección de Aguas No 5.965	Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera
Ley de Residuos Especiales No 11.720	No 11.720 Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos especiales
Ley de Evaluación de Impacto Ambiental N°11.723	Obtención de Declaración de Impacto Ambiental de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires
Decreto 531/19 Certificado Aptitud Ambiental	Obtención del Certificado de Aptitud Ambiental
Resolución 599/19	Obtención, renovación y modificaciones de LEGA
Ley 11459	Ley de radicación industrial PBA - Obtención del Certificado de Aptitud Ambiental cada 4 años
Legislación Municipal del Partido de Pilar	
Norma	Detalle
Ordenanza 227/18 Código de Habilitaciones	Código de habilitaciones del partido de pilar

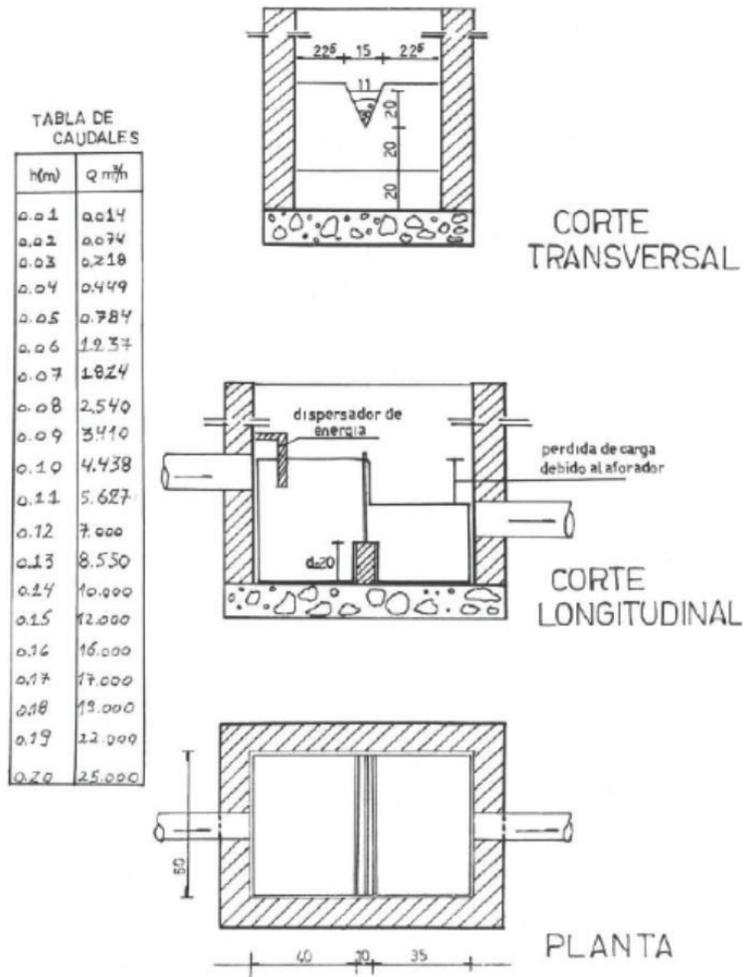
Anexo II

CAMARA PARA EXTRACCION DE MUESTRAS Y MEDICION DE CAUDALES PARA LIQUIDOS INDUSTRIALES



Anexo II Figura 1: Dimensiones y ubicación en planta de la cámara para extracción de muestras y medición de caudales para líquidos industriales (CTMyMC) según la Resolución N° 607/12. Fuente: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2012)

CAMARA DE EXTRACCION DE MUESTRAS Y MEDICION DE CAUDALES HASTA 25 m³/h



Anexo II - Figura 2 : Dimensiones y Tabla de caudales para CTMyMC hasta 25 m³/h.

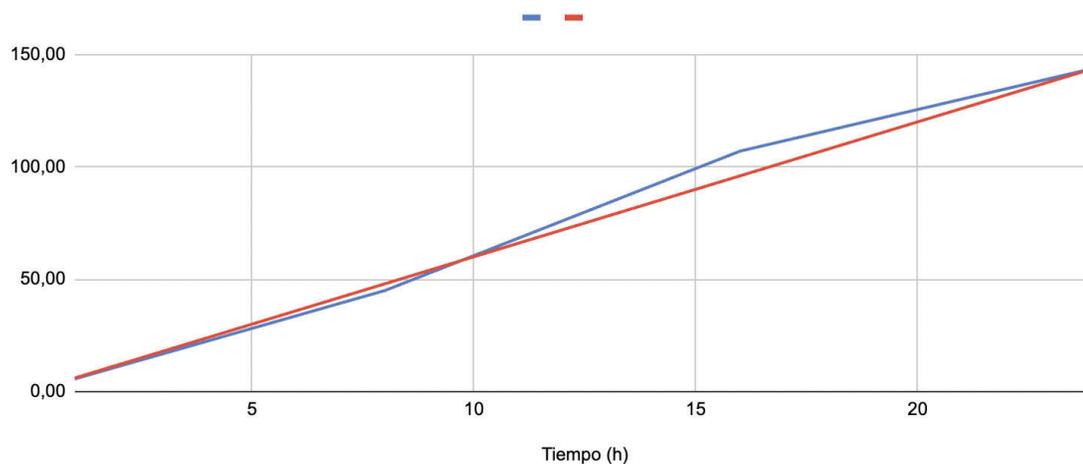
Fuente: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2012).

Anexo III - Pretratamiento

Anexo III Tabla 1 Verificación del volumen de la cámara de mezcla para cada franja horaria a lo largo de un día.

Periodo de tiempo (h)	Franja horaria	Caudal medio de ingreso a ecualizador (Qmedio para c/hora) [m3/h]	Vol Acumulado Real (m3) - VAR	Vol Acumulado Promedio (m3) - VAM	Variación (m3)
1	06:00 - 07:00	5,625	5,63	6,00	0,38
2	07:00 - 08:00	5,625	11,25	12,00	0,75
3	08:00 - 09:00	5,625	16,88	18,00	1,13
4	09:00 - 10:00	5,625	22,50	24,00	1,50
5	10:00 - 11:00	5,625	28,13	30,00	1,88
6	11:00 - 12:00	5,625	33,75	36,00	2,25
7	12:00 - 13:00	5,625	39,38	42,00	2,63
8	13:00 - 14:00	5,625	45,00	48,00	3,00
9	14:00 - 15:00	5,625	52,75	54,00	1,25
10	15:00 - 16:00	7,75	60,50	60,00	-0,50
11	16:00 - 17:00	7,75	68,25	66,00	-2,25
12	17:00 - 18:00	7,75	76,00	72,00	-4,00
13	18:00 - 19:00	7,75	83,75	78,00	-5,75
14	19:00 - 20:00	7,75	91,50	84,00	-7,50
15	20:00 - 21:00	7,75	99,25	90,00	-9,25
16	21:00 - 22:00	7,75	107,00	96,00	-11,00
17	22:00 - 23:00	7,75	111,63	102,00	-9,63
18	23:00 - 00:00	7,75	116,25	108,00	-8,25
19	00:00 - 01:00	4,625	120,88	114,00	-6,88
20	01:00 - 02:00	4,625	125,50	120,00	-5,50
21	02:00 - 03:00	4,625	130,13	126,00	-4,13
22	03:00 - 04:00	4,625	134,75	132,00	-2,75
23	04:00 - 05:00	4,625	139,38	138,00	-1,38
24	05:00 - 06:00	4,625	144,00	144,00	0,00

Vol Acumulado Real (m³) y Vol Acumulado Promedio (m³)



Anexo III - Figura 1 Gráfico del volumen acumulado en el ecualizador para cada periodo de tiempo a lo largo de un día laboral (línea azul) y el volumen acumulado que egresa del ecualizador para cada periodo de tiempo a lo largo de un día laboral (línea roja). Fuente: elaboración propia.

Difusor de burbuja gruesa CB-300	
Rango de caudal:	3 a 25 Nm ³ /hora
Caudal de diseño:	10 Nm ³ /hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 3 Nm ³ /hora 40 mbar para 10 Nm ³ /hora 70 mbar para 25 Nm ³ /hora
Densidad:	0,5 a 3 difusores/m ²
SOTE:	5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m ³ /h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O ₂ :	0,8 – 2 Kg. O ₂ /KWh

Anexo III - Figura 2 Ficha técnica de los difusores de aire de burbuja fina modelo RG-300 del proveedor Repiky. Fuente: Repiky.

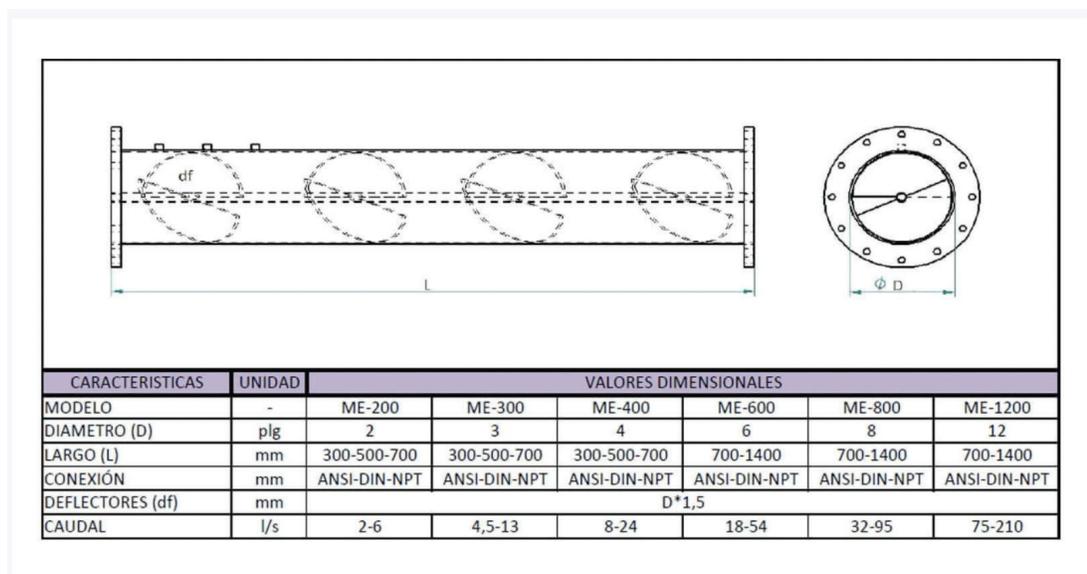
Tabla de Selección de Sopladores trabajando como Compresor

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de aspiración como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a presión atmosférica normal P= 1013 mbar y temperatura de admisión del aire T = 20°C. Para otros gases y/o condiciones operativas, consultar.



Modelo	RPM	100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
		Q m³/h	P HP																		
R100	1450	29.6	0.4	23.1	0.5	18	0.7	13.7	0.9												
	2250	54	0.6	47.5	0.8	42.2	1.1	38.1	1.4	34.3	1.6	30.8	1.8								
	2900	74	0.7	67.3	1.1	62.2	1.4	57.9	1.6	54.1	2.0	50.6	2.3	47.4	2.7						
	4500	123	1.5	116	1.6	111	2.1	107	2.6	103	3.1	99	3.7	96	4.2						
R200	1450	63	0.6	52	0.9	43.3	1.3	35.9	1.6												
	2250	112	0.9	101	1.4	92.1	1.9	84.6	2.4	78.1	2.9	72.1	3.4								
	2900	152	1.2	140	1.8	132	2.4	124	3.1	118	3.8	112	4.5	106	5.1	101	5.7				
	4500	249	1.7	238	2.8	229	3.8	222	4.9	215	5.8	209	6.9	204	7.9						
R300	1450	89	0.6	80	1.1	65	1.5	56	1.9	48	2.4										
	2250	156	0.9	142	1.6	131	2.3	122	3.0	114	3.7	107	4.4	100	5.0						
	2900	210	1.2	196	2.0	185	3.0	176	3.9	168	4.8	161	5.6	154	6.5	148	7.5				
	4500	342	1.8	328	3.2	318	4.7	309	6.0	301	7.4	293	8.7	286	10.2	280	11.5				
R500	1450	142	1.0	132	1.6	112	2.3	101	3.0	91	3.6	82	4.3	74	4.9						
	2250	241	1.5	225	2.5	211	3.6	200	4.6	190	5.6	181	6.7	173	7.8						
	2900	322	1.9	306	3.3	292	4.6	281	5.9	271	7.3	262	8.6	254	10.0	246	11.3				
	4500	521	3.0	504	5.0	491	7.1	480	9.2	470	11.3	461	13.4	452	15.4	444	17.6	437	19.6		
R600	1450	185	1.2	158	2.1	138	3.0	120	3.9	105	4.9										
	2250	319	1.8	293	3.3	272	4.7	255	6.1	239	7.5	225	8.9	212	10.3						
	2900	429	2.4	402	4.2	382	6.0	364	7.9	349	9.7	335	11.4	321	13.3	309	15.1				
	4500	698	3.7	692	6.5	651	9.3	634	12.1	618	14.9	604	17.8	591	20.7						
R1000	1450	297	2.0	275	3.3	259	4.6	245	5.8	232	7.2	221	8.4	210	9.7						
	2250	487	3.1	466	5.1	449	7.1	435	9.1	422	11.1	411	13.1	400	15.0	390	17.1	381	19.0		
	2900	641	4.0	620	6.6	603	9.1	589	11.7	577	14.3	565	16.8	555	19.4	545	21.9	535	24.5	527	27.1
	4300	974	5.9	953	9.8	936	13.6	922	17.4	910	21.1	898	24.9	888	28.7	878	32.6	868	36.4		
R1200	1450	433	2.5	407	4.4	387	6.2	370	8.1	355	9.8	341	11.8	329	13.5	317	15.3				
	2250	703	4.0	677	6.8	657	9.6	640	12.4	625	15.2	612	18.0	599	21.0	587	23.8				
	2900	922	5.0	897	8.7	877	12.4	860	16.0	845	19.7	831	23.3	819	27.0	807	30.6				
	4300	1395	7.6	1370	13.0	1350	18.3	1333	23.8	1318	29.2	1304	34.5	1292	40.0						
R1.5	1450	605	4.0	570	6.5	549	9.0	520	11.6	499	14.2	481	16.7	464	19.2	448	21.7				
	2250	981	6.2	947	10.1	920	14.1	897	18.0	877	21.9	859	25.9	840	29.9	825	33.8	809	37.7	795	41.7
	2900	1288	8.0	1253	13.1	1226	18.1	1203	23.2	1183	28.3	1164	33.4	1147	38.4	1131	43.6	1115	48.6	1101	53.7
	3400	1523	9.5	1489	15.3	1461	21.2	1438	27.3	1371	31.2	1352	37.9	1335	43.7	1319	49.6	1304	55.3	1290	61.1
R2.0	1450	892	5.1	850	8.8	816	12.5	788	16.2	763	19.8	740	23.5	719	27.2	699	30.8				
	2250	1437	8.0	1395	13.7	1362	19.4	1333	25.0	1308	30.7	1285	36.5	1264	42.2	1244	47.8				
	2900	1881	10.3	1838	17.6	1805	24.9	1776	32.3	1751	39.7	1728	46.9	1707	54.3	1688	61.7				
	3400	2222	12.0	2179	20.7	2146	29.3	2117	37.8	2126	47.1	2069	55.1	2048	63.7						
R2.5	1450	1269	7.5	1213	13.3	1170	19.2	1133	25.1	1100	31.0	1070	36.8								
	2250	2039	11.6	1983	20.7	1940	29.8	1903	38.9	1870	48.0	1840	57.1								
	2900	2665	15.0	2609	26.7	2565	38.4	2528	50.2	2495	61.9	2465	73.7								
	3400	3147	17.5	3090	31.3	3046	45.2	3009	58.9	2976	72.5										
R3.0	1450	1268	7.4	1212	12.5	1168	17.8	1131	22.9	1098	28.1	1068	33.3	1041	38.5	1015	43.7	990	48.8		
	1750	1556	8.9	1500	15.1	1457	21.4	1420	27.6	1387	34.0	1357	40.2	1329	46.4	1303	52.7	1279	59.0	1255	65.2
	2250	2037	11.4	1981	19.5	1937	27.5	1900	35.5	1867	43.6	1837	51.6	1810	59.7	1784	67.7	1759	75.8	1736	83.8
	2750	2517	14.0	2462	23.8	2418	33.7	2381	43.5	2348	53.3	2318	63.1	2290	72.9	2264	82.7	2240	92.6		
R3.5	1450	1707	9.2	1626	16.2	1562	23.3	1508	30.3	1461	37.2	1418	44.3	1377	51.3	1340	58.4				
	1750	2097	11.1	2016	19.6	1953	28.0	1899	36.6	1851	45.0	1808	53.4	1768	62.0	1731	70.4				
	2250	2749	14.3	2667	25.1	2605	36.1	2551	46.9	2503	57.9	2460	68.2	2420	79.6	2382	90.6				
	2750	3400	17.5	3319	30.7	3256	44.1	3202	57.4	3144	70.7	3111	84.1	3071	97.4	3033	111				
R3.8	1450	2408	12.2	2280	22.2	2180	32.2	2098	42.3	2020	52.3	1952	62.4								
	1750	2967	14.7	2838	26.9	2738	38.9	2654	51.2	2578	63.1	2510	75.3								
	2250	3897	18.9	3768	34.5	3668	50.1	3583	65.6	3509	81.2	3440	96.7								
	2750	4827	23.2	4698	42.2	4598	61.2	4513	80.2	4438	99.2	4370	118								
R4.0	1000	1676	9.4	1600	16.3	1539	23.2	1488	30.1	1442	36.9	1400	43.7	1363	50.6	1326	57.5	1293	64.4	1264	71.3
	1450	2510	13.6	2432	23.6	2372	33.6	2320	43.6	2274	53.4	2233	63.4	2196	73.5	2160	83.4	2126	93.4	2094	103
	1750	3065	16.4	2987	28.4	2927	40.5	2876	52.6	2830	64.6	2788	76.6	2750	88.7	2714	101	2681	113	2648	125
	2150	3804	20.2	3728	34.9	3667	49.8	3616	64.5	3570	79.3	3528	94.1	3490	109	3454	124	3421	139		
R4.5	1000	2262	11.7	2160	21.0	2080	30.3	2014	39.6	1953	48.8	1900	58.1	1848	67.3	1800	77				
	1450	3382	17.1	3281	30.5	3202	43.9	3134	57.3	3074	70.8	3020	84.2	2970	97.7	2923	111				
	1750	4131	20.6	4028	36.8	3950	55.7	3882	69.3	3822	85.5	3768	102	3718	118	3670	134				
	2150	5128	25.3	5025	45.2	4947	65.2	4978	84.6	4818	105	4763	125	4714	145						
R5.0	900	3080	18.8	2945	31.4	2842	44.0	2752	56.6	2675	69.2	2605	82	2537	94	2475	107	2418	119	2300	169
	1150	4020	24.2	3885	40.2	3780	56.2	3692	72.3	3612	88.3	3542	104	3475	120	3414	136	3356			

Anexo IV - Tratamiento Primario



Anexo IV - Figura 1 Ficha técnica del mezclador/coagulador estático modelo ME.

Fuente: EATHISA



Anexo IV - Figura 2 Mezcladora de turbina vertical de carga superior modelo HM

proveedor Milton Roy. Fuente : milton roy.

Technical summary

Max. flow rate	2000 ml/min
Min. flow rate	0.1 ml/min
Max. flow rate	31.7 USGPH
Min. flow rate	0.001 USGPH
Max. operating pressure	9 bar
Max. operating pressure	130 psi
Ambient Temperature Range	5 °C to 45 °C
Ambient Temperature Range	41 °F to 113 °F



Anexo IV - Figura 3 Bomba dosificadora QDOS Fuente:

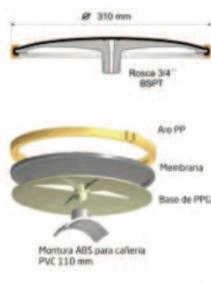
https://www.wmfts.com/en/watson-marlow-pumps/cased-pumps/qdos-metering-pump/?_snt=57787d17-c9bb-4ff4-af97-c768245a733f

Anexo V - Tratamiento Secundario

Información Técnica

Los difusores de membrana Repicky se fabrican en dos versiones, de burbuja fina y de burbuja gruesa.

Los primeros, modelo RG-300 con miles de microperforaciones, permiten obtener valores muy altos de transferencia de O_2 siendo ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.



Difusor de burbuja fina | RG-300

Rango de caudal: 2 a 8 Nm^3 /hora

Caudal de diseño: 5 Nm^3 /hora

Pérdida de carga: 20 mbar para 2 Nm^3 /hora
40 mbar para 5 Nm^3 /hora
70 mbar para 8 Nm^3 /hora

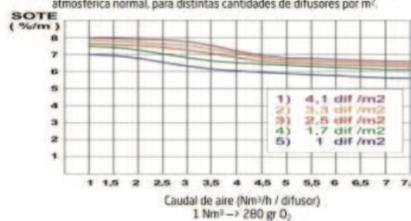
Densidad: 1 a 6 difusores/ m^2

SOTE: 15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m^3 /h de aire y por m de profundidad.

Eficiencia de transferencia de O_2 : 2,5 – 6 Kg. O_2 /KWh



Transferencia de O_2 para el modelo RG-300 por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor [m^3/h] a 20 °C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m^2 .

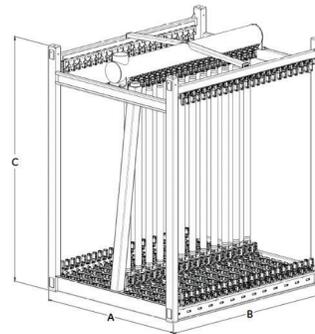


Anexo V - Figura 1 Ficha técnica de difusores de burbuja fina modelo RG 300 de la marca Repicky Fuente: Repicky.

ZeeWeed* 500D LEAP Cassette

FACT SHEET

Cassette Dimensions			
Product	Width (A) mm (in)	Length (B) mm (in)	Height (C) mm (in)
52M	1,744 (68.7)	2,136 (84.1)	2,561 (100.8)
16M	738 (29.1)	1,744 (68.7)	2,512 (98.9)



LEAPmbr Cassette

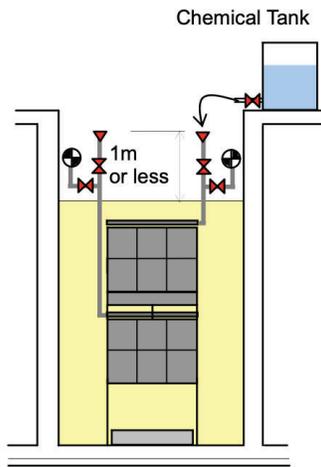


Cassette Tie-Points & Weights							
Application	Product	Max. # of ZW Modules	Min. # of ZW Modules	Permeate Connection	Air Connection	Max. Shipping Weight ¹ kg (lb)	Lifting Weight ² kg (lb)
LEAPmbr	52M	52	26	1 x 6" vert. pipe	1 x 3" FNPT half coupling	1,892 (4,172)	2,184 – 4,250 (4,816 – 9,370)
	16M	16	8	2 x 4" FNPT half couplings	1 x 3" FNPT half coupling	741 (1,634)	777 – 1,455 (1,713 – 3,208)

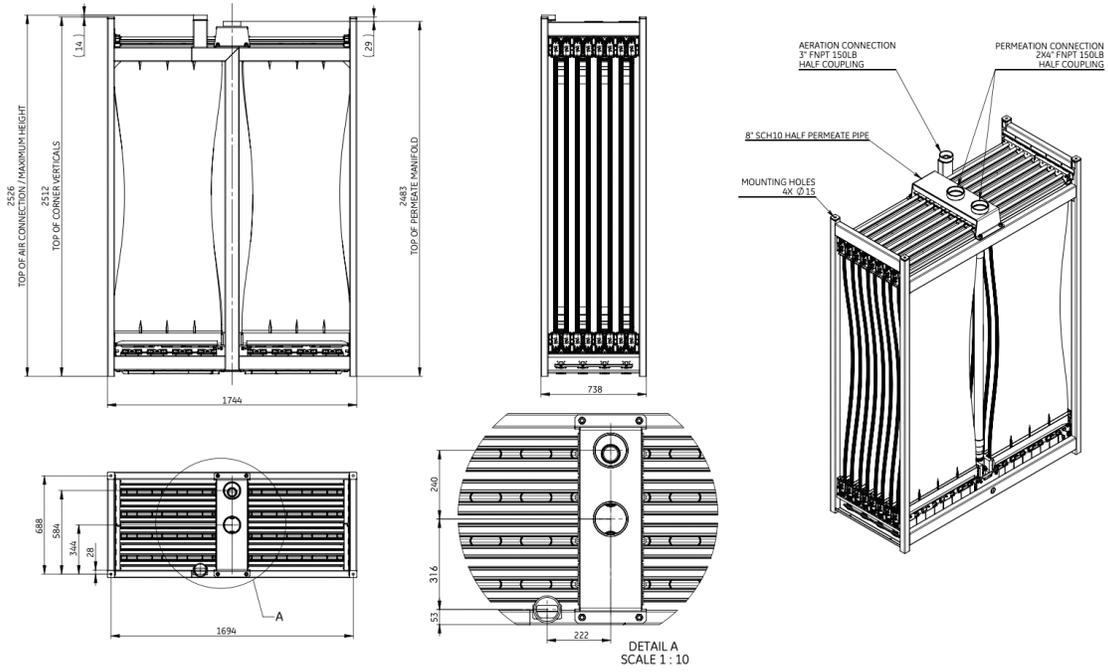
¹ Crated with maximum number of modules

² Varies with number of modules and solids accumulation

Anexo V - Figura 2 Ficha técnica ZeeWeed 500F Leap Cassette. Fuente: Veolia.



Anexo V - Figura 3 Limpieza química In Situ. Fuente: Veolia.



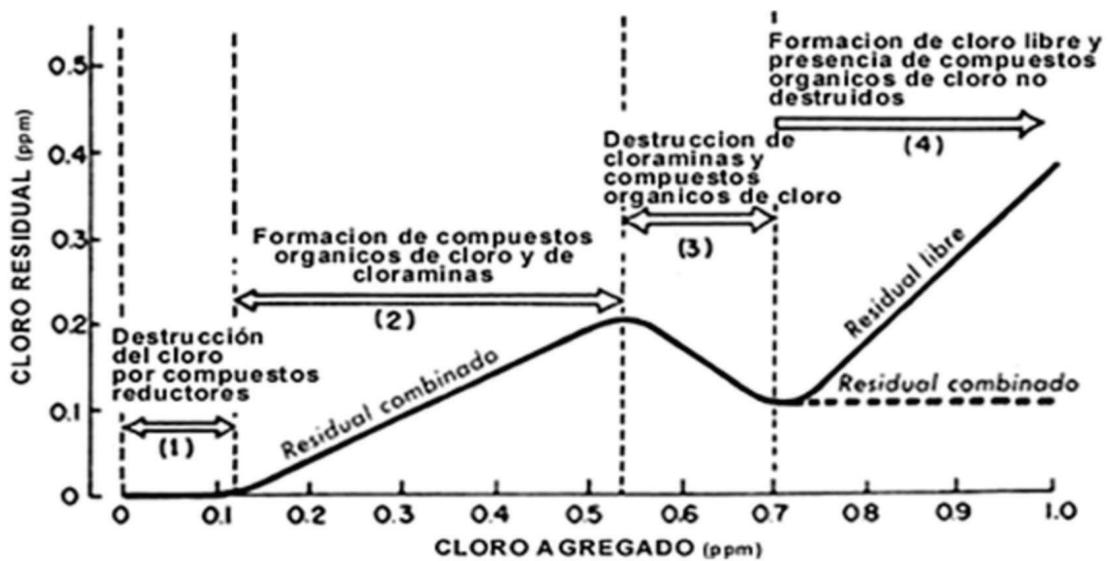
Anexo V - Figura 4 Detalle Plano Membranas MBR Fuente: Veolia.

Anexo V tabla 1 Características del sistema MBR y dimensiones del módulo de membranas.

Fuente: Veolia / Elaboración propia.

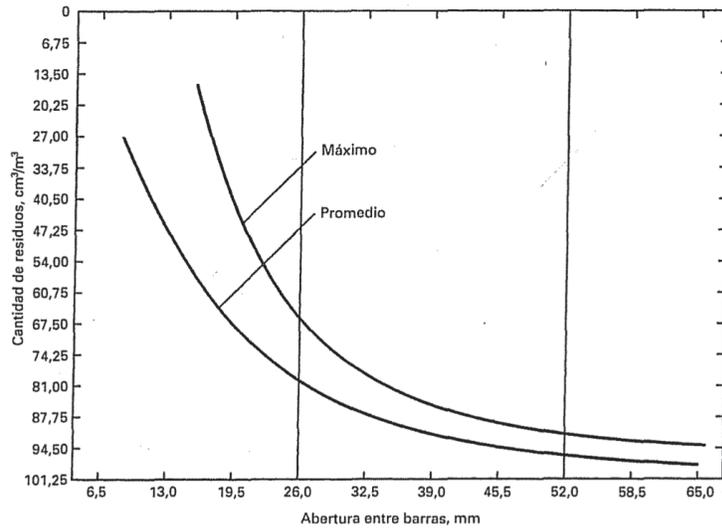
Características Sistema MBR		
Parámetro	Unidad	Valor
Flujo de diseño	LMH (L/m ² h)	9,8
Modelo modulo	ZW500D LEAP - 16M	
Tamaño de poro	um	0,2
Módulos por Cassette	unidad	16
Caudal por Cassette	m ³ /h	6,23
Cantidad de Cassettes	unidad	2
Caudal total	m ³ /h	12,5

Anexo VI - Tratamiento Terciario



Anexo VI - Figura 1 Cloro residual vs Cloro agregado Fuente: Tecpa.

Anexo VII - Tratamiento de lodos



Anexo VII - Figura 1 Volumen medio y máximo de residuos recogidos por unidad de volumen de agua residual en función del tamaño de las aberturas libres entre barras.

Fuente: Metcalf & Eddy.



Modelo	Ancho de la correa(mm)	Capacidad(m³/h) Concentración de entrada (De sólidos en suspensión 1.5-2.5%)	Sólido seco(kg/hr)	La humedad(%)	Power(Kw)			Bandeja de acero inoxidable	Dimensiones de referencia (mm)			Fundación dimensiones(mm)	Peso(Kg)
					Potencia del motor de accionamiento	Capacidad de mezcla	Espesante		L	W	H		
DNY500	500	3.0-5.2	45-78	63-84.5	0.75	0.37	0.37	Equipado	2600	1050	2175	2100*836	830

Anexo VII - Figura 2 Especificaciones Filtro de bandas, modelo DNY500 Fuente: Da Zhang

Tanque de agua 25,000 litros

Especificaciones

El tanque de 25,000 litros Rotoplas hecho de polietileno de alta densidad es ideal para el almacenamiento y transporte de diversas sustancias.

Material:

Polietileno de alta densidad.

Medidas:

Volumen (lts)	Alto "A" (cm)	Diametro "B" (cm)	Tapa "C" (cm)	Placa "D" (cm)
25000 L	368	320	46	20

Color:

Negro

[Cotizar el mío](#)

Descargables:

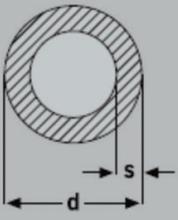
[Manual](#)

[Ficha técnica](#)



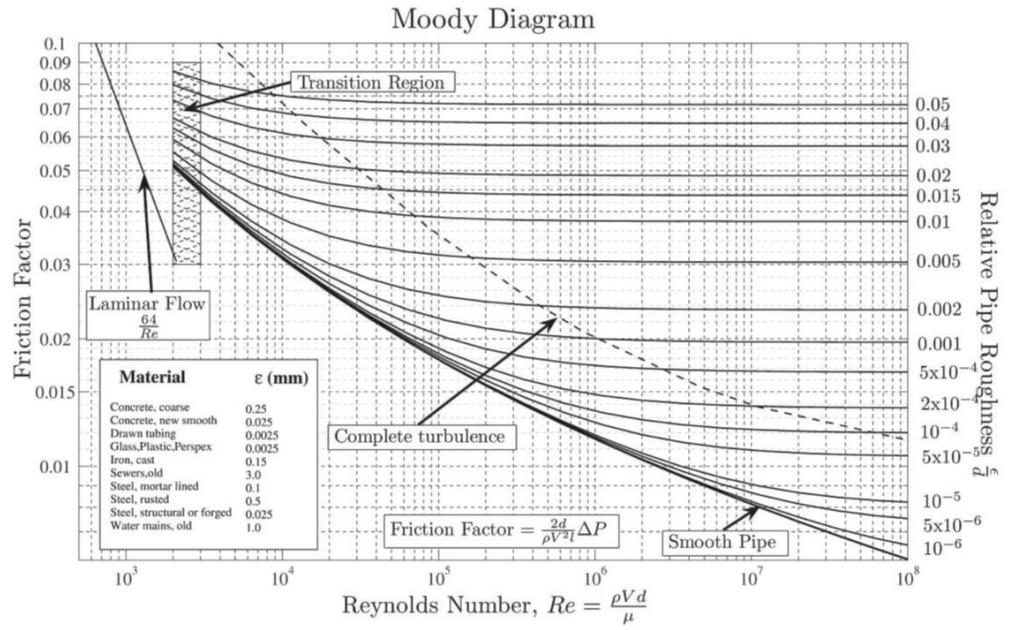
Anexo VII - Figura 3 Especificaciones Tanque para acopio de lodos Fuente: Rotoplas

Anexo VIII - Sistema de conducción

Caños diámetro exterior nominal con costura								
TP 304 - 304L - 316L - Según Norma ASTM A312 - A409 - A778								
Terminación Decapado y Pasivado, superficie lisa Aplicación Conducción en altas y bajas temperaturas y en ambientes corrosivos Largo estándar: 6000 mm Dimensiones según ANSI B 36.19 y ANSI B 36.10 Peso aprox. kg/mt. 	Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)					
	Pulg	mm.	sch 5S	kg./mt.	sch10S	kg./mt.	sch 40S	kg./mt.
	1/8"	10.3				0.280	1.73	0.370
	1/4"	13.75			1.65	0.510	2.24	0.670
	3/8"	17.2			1.65	0.660	2.31	0.880
	1/2"	21.5	1.65	0.817	2.11	1.040	2.77	1.330
	3/4"	26.6	1.65	1.038	2.11	1.330	2.87	1.750
	1"	33.4	1.65	1.317	2.77	2.170	3.56	2.590
	1"1/4	42.2	1.65	1.671	2.77	2.770	3.56	3.500
	1"1/2	48.3	1.65	1.933	2.77	3.200	3.69	4.170
	2"	60.3	1.65	2.433	2.77	4.040	3.91	5.590
	2"1/2	73	2.11	3.761	3.05	5.340	5.16	8.860
	3"	88.9	2.11	4.602	3.05	6.540	5.49	11.052
	3"1/2	101.6	2.11	5.248	3.05	7.514	5.74	13.900
	4"	114.3	2.11	5.949	3.05	8.6640	6.02	16.840
	5"	141.3	2.77	9.644	3.40	11.820	6.55	22.260
	6"	168.3	2.77	11.522	3.40	14.130	7.11	26.080
8"	219.1	2.77	15.066	3.76	20.390	8.18	43.560	
10"	273.1	3.40	22.092	4.19	28.163	9.27	61.131	
12"	323.8	3.97	31.837	4.57	36.677	9.53	74.811	
14"	355.6.1	3.97	34.812	4.78	41.923	11.13	82.367	
16"	406.4	4.2	42.131	4.78	47.994	12.70	94.457	

Anexo VIII - Figura 1 Caños diámetro exterior nominal con costura. Diámetros externos y espesor de la pared. Fuente: Inoxeste

https://www.inoxoeste.com.ar/productos_canos_tubos.html



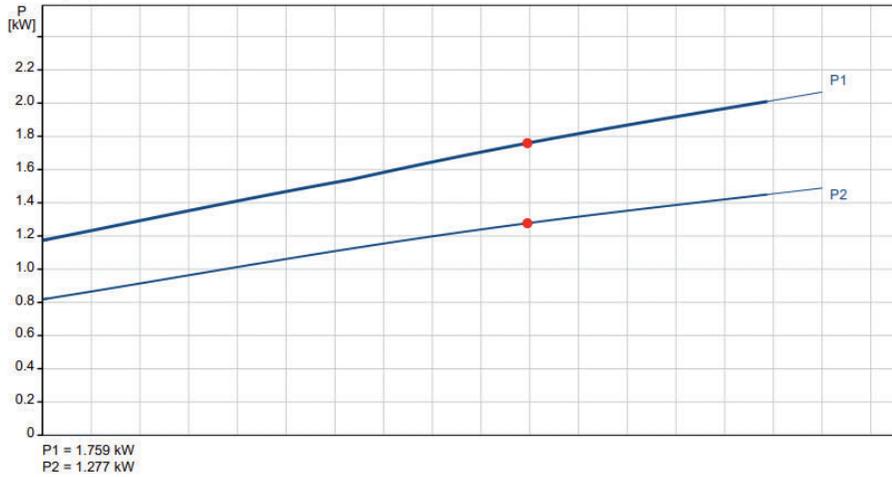
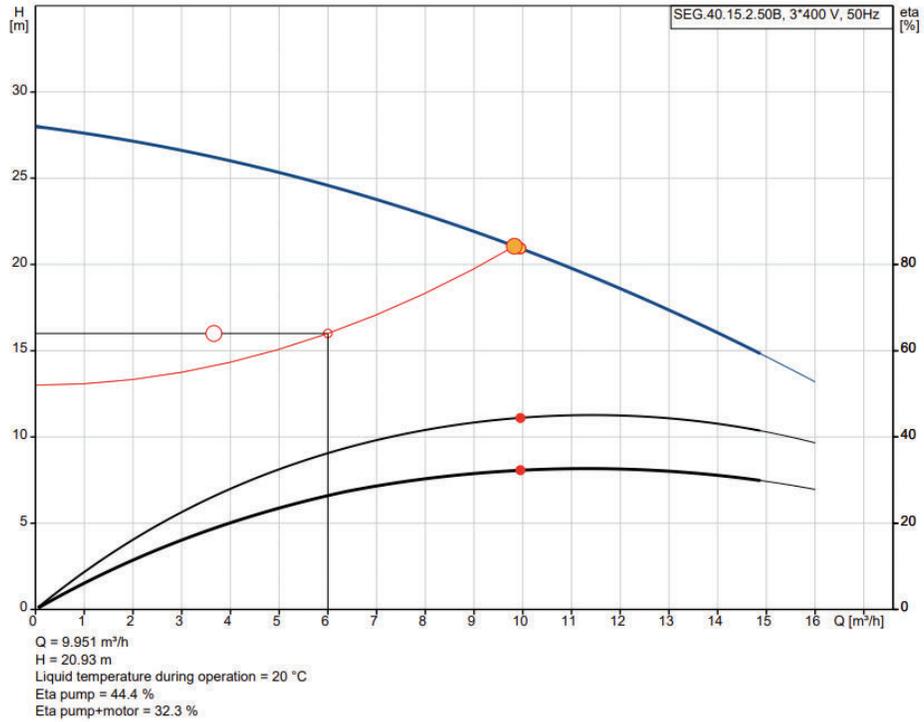
Anexo VIII - Figura 2 diagrama de Moody Fuente: Compendio Operaciones Unitarias, UNSAM



Company name:
Created by:
Phone:

Date: 21/04/2024

96075909 SEG.40.15.2.50B 50 Hz

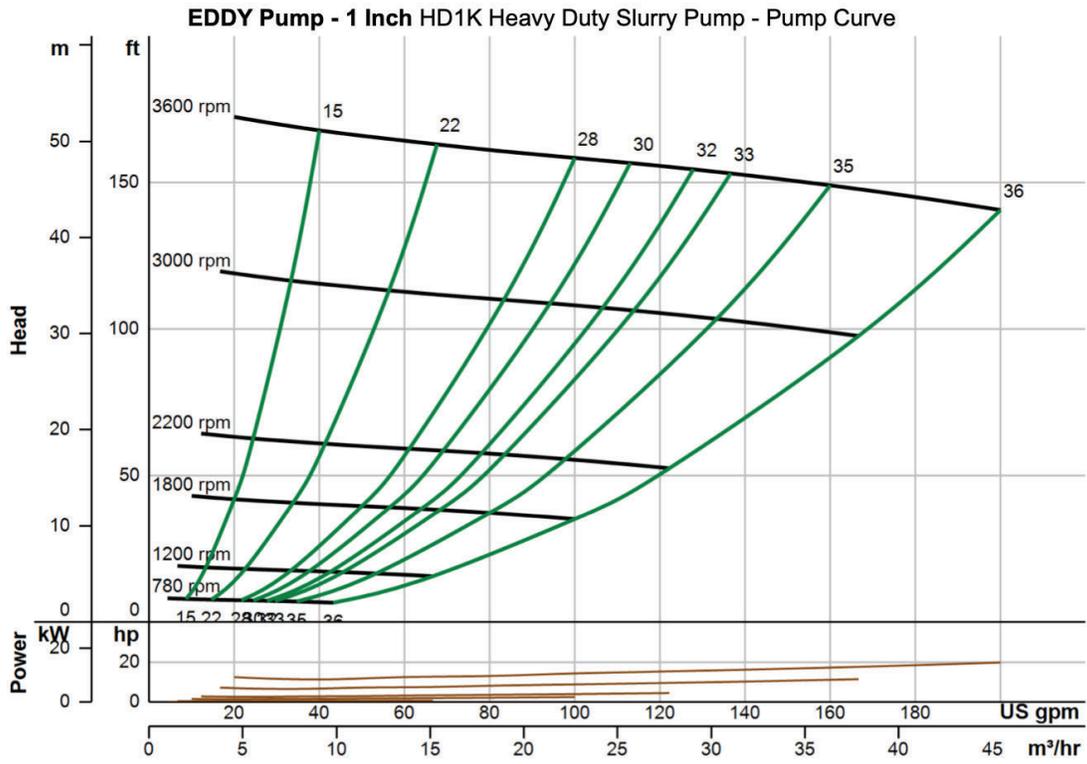


Printed from Grundfos Product Centre [2024.16.002]

3

Anexo VIII - Figura 3 Ficha técnica de bomba sumergible modelo SEG.40.15.2.50B.

Fuente: GRUNDFOS.

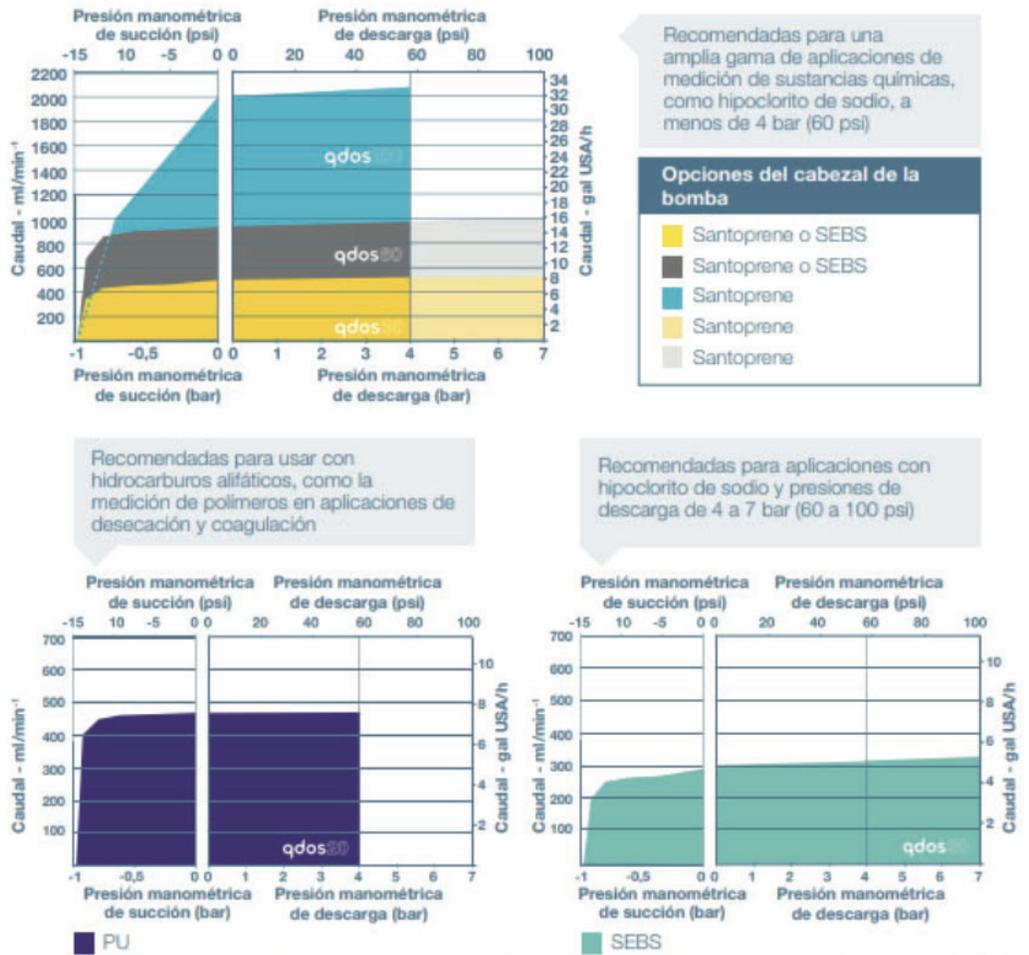


*General pump curve based on water with 1800RPM motor. Contact us with your specific material for a custom pump curve.

Anexo VIII - Figura 4 Ficha técnica de EDDY PUMP HD1K . Fuente: EddyPump.

Modelo	Flow (ml/min)				
	Qdos 20	Qdos 20 PU	Qdos 30	Qdos 60	Qdos 120
Universal+, Universal, Manual, PROFIBUS	0.1 – 333	0.1 – 464	0.1 – 500	0.1 – 1000	0.1 – 2000
Remote	0.2 – 333	-	0.3 – 500	0.6 – 1000	1.2 – 2000
Modelo	Flow (USGPH)				
	Qdos 20	Qdos 20 PU	Qdos 30	Qdos 60	Qdos 120
Universal+, Universal, Manual, PROFIBUS	0.001 – 5.3	0.001 – 7.7	0.001 – 7.93	0.001 – 15.85	0.001 – 31.7
Remote	0.003 – 5.3	-	0.005 – 7.93	0.01 – 15.85	0.02 – 31.7

Curvas de rendimiento



Anexo VIII - Figura 5 Especificaciones técnicas de bombas dosificadoras Qdos Watson Marlow.

Anexo IX - Estudio de Impacto Ambiental

Contaminantes	LD	Resultados		Unidad	Período de Tiempo	Ley 5965 Decreto 1074/18 Anexo III, de la Provincia de Bs.As.
		PUNTO N° 1	PUNTO N° 2			TABLA B
		CA1	CA2			Niveles Guía Contaminantes Específicos
1,1-Dicloroetano	6	No detectado	No detectado	µg/m ³	----	----
Bromoclorometano	6	No detectado	No detectado		----	----
Cloroformo (Triclorometano)	6	No detectado	No detectado		----	----
1,1,1-Tricloroetano (Metilcloroformo)	6	No detectado	No detectado		----	----
Tricloroetano (Tricloroetileno)	6	No detectado	No detectado		----	----
Tolueno	6	No detectado	No detectado		8 horas	1400
1,1,2-Tricloroetano-(Tricloruro de Vinilo)	6	No detectado	No detectado		----	----
1,1,2,2 Tetracloroetileno (Percloroetileno)	6	No detectado	No detectado		----	----
Clorobenceno (Monoclorobenceno)	6	No detectado	No detectado		----	----
Etilbenceno	6	No detectado	No detectado		----	----
m,p-Xileno	6	No detectado	No detectado		8 horas	5200 (*)
o-Xileno (1,2-Dimetilbenceno)	6	No detectado	No detectado		8 horas	5200 (*)
Estireno (Vinil Benceno)	6	No detectado	No detectado		1 año	26.3
Bromoformo	6	No detectado	No detectado		----	----
1,1,2,2-Tetracloroetano	6	No detectado	No detectado		----	----
1,2,3-Tricloropropano (Tricloruro de Alilo)	6	No detectado	No detectado		----	----
1,3,5-Trimetilbenceno	6	No detectado	No detectado		----	----
1,2,4-Trimetilbenceno	6	No detectado	No detectado		----	----
1,3-Diclorobenceno (m-Diclorobenceno)	6	No detectado	No detectado		----	----
Isopropilbenceno (Cumeno)	6	No detectado	No detectado		----	----
1,4-Diclorobenceno (p-Diclorobenceno)	6	No detectado	No detectado		----	----
1,2-Diclorobenceno (o-Diclorobenceno)	6	No detectado	No detectado		----	----
Naftaleno	6	No detectado	No detectado		8 horas	120
Benceno	0.054	No detectado	No detectado		1 año	0.096
Etanol (Alcohol etílico)	12	No detectado	No detectado		----	----

Anexo Ix Tabla I: Resultados para muestreo de calidad de aire Fuente: Induser.

Anexo Ix Tabla II: Resultados para muestreo de ruido Fuente Induser.

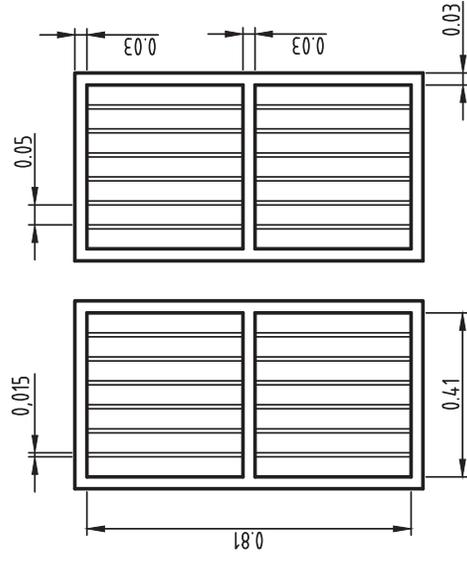
NOCTURNO	Punto 1 (22:00 h a 22:15 h)	Punto 2 (22:15 h a 22:30 h)
Nivel de evaluación (LM)	62,2	62,5
Nivel ruido de fondo (LF)	61,9	61,9
Diferencia (LM - LF) Si es < 3dB: Enmascaramiento	0,3	0,6
Corrección de LM por ruido de fondo	N/C	N/C
Corrección por carácter tonal (Kt)	0	0
Corrección por carácter impulsivo (Ki)	0	0
Corrección por carácter frecuencia (Kbf)	0	0
Penalización (K)	0	0
LE = LM + K	62	63
LIMITE (*)	70	70
CALIFICACION	SIN CALIFICAR	SIN CALIFICAR

N/C : Si LM - Lf ≥ 10 dB no corresponde realizar corrección

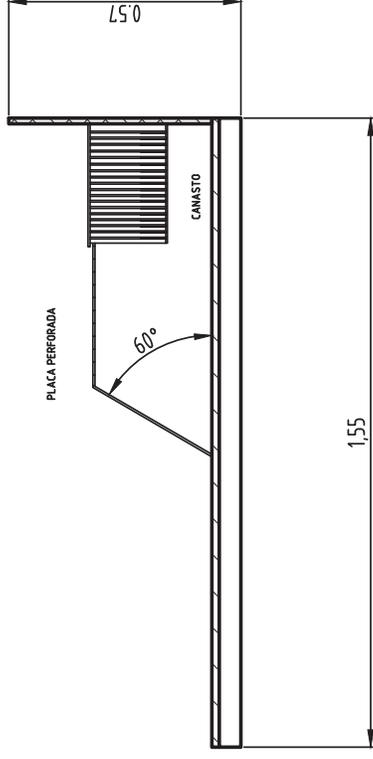
Anexo X - Planos

- Plano N1: Sistema de Rejas
- Plano N2: Ecuilizador N1
- Plano N3: Coagulación-floculación
- Plano N4: Sedimentador primario
- Plano N5: Fenton
- Plano N6: Ecuilizador N2
- Plano N7: Reactor MBR
- Plano N8: Camara de cloracion
- Plano N9: Vista superior PTEL
- Plano N10: Vista lateral PTEL

DETALLE REJAS MANUALES GRUESAS

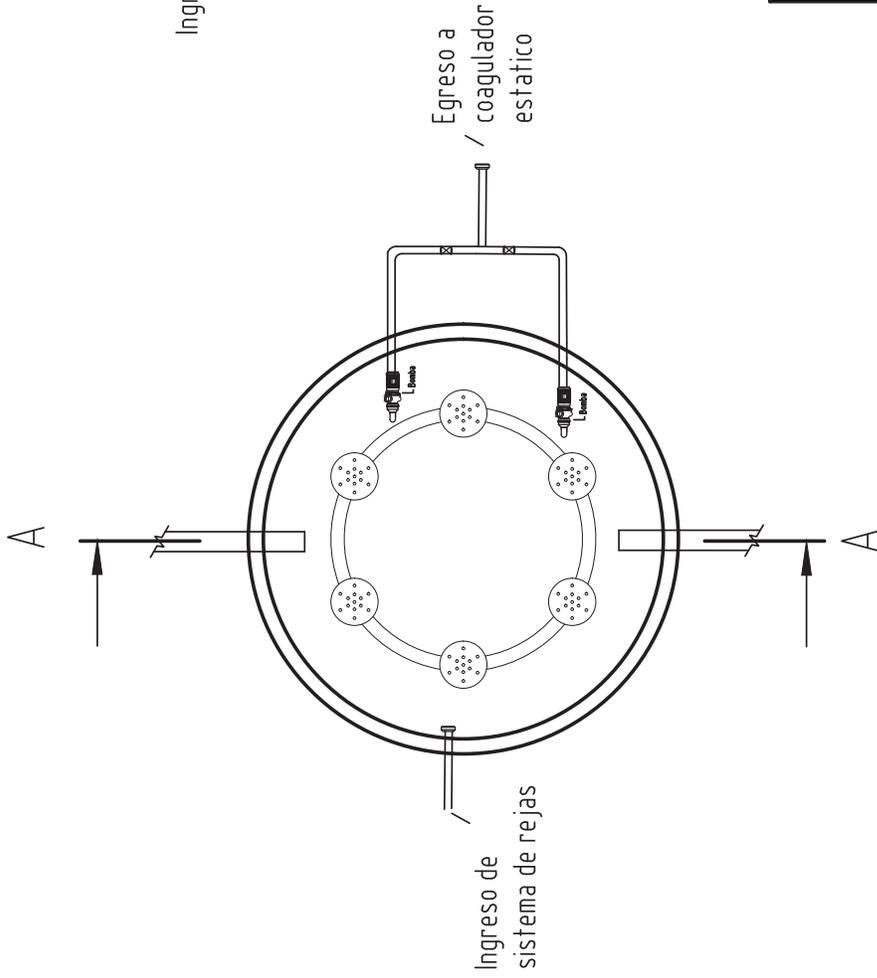


VISTA LATERAL

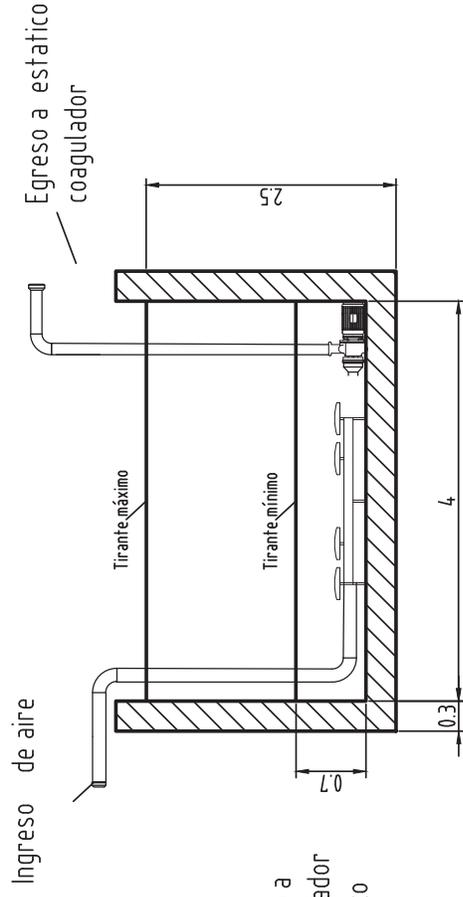


Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN	Estrudiante	Abriel, Agustina	
	Dibujó	2024			Docentes	Guz, Lucas
	Revisó				Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó				Carrera	PFI
	Escala	1:1,25			Denominación	Sistema de Rejas
					Pág.	1

VISTA SUPERIOR

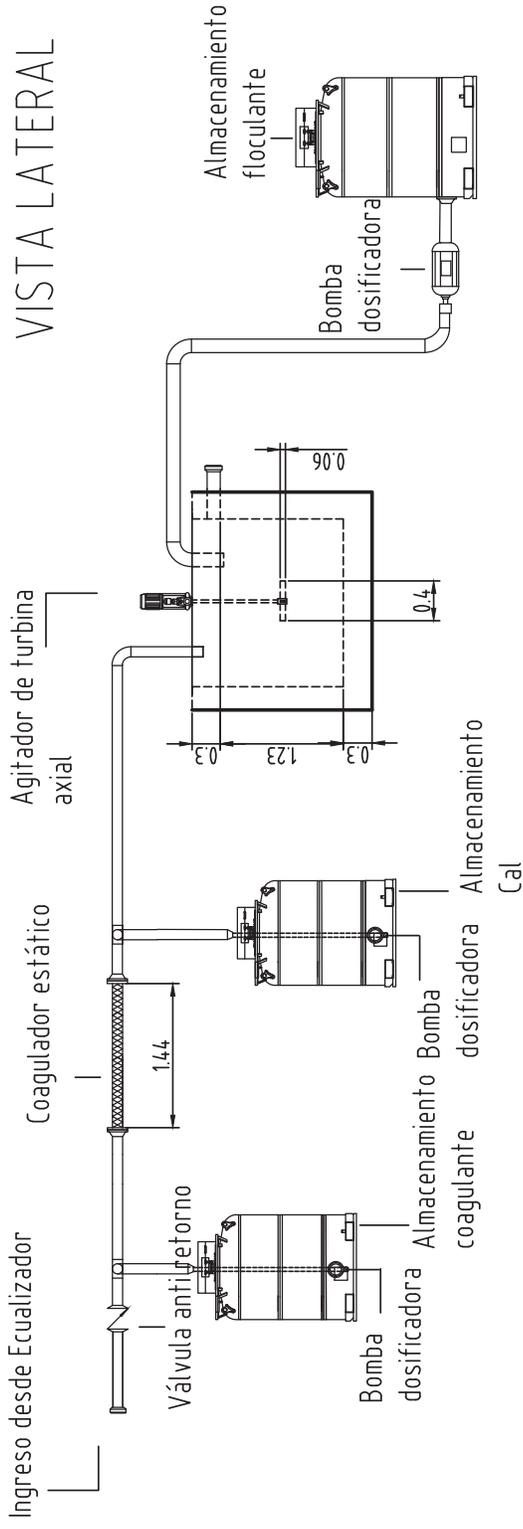


CORTE A-A

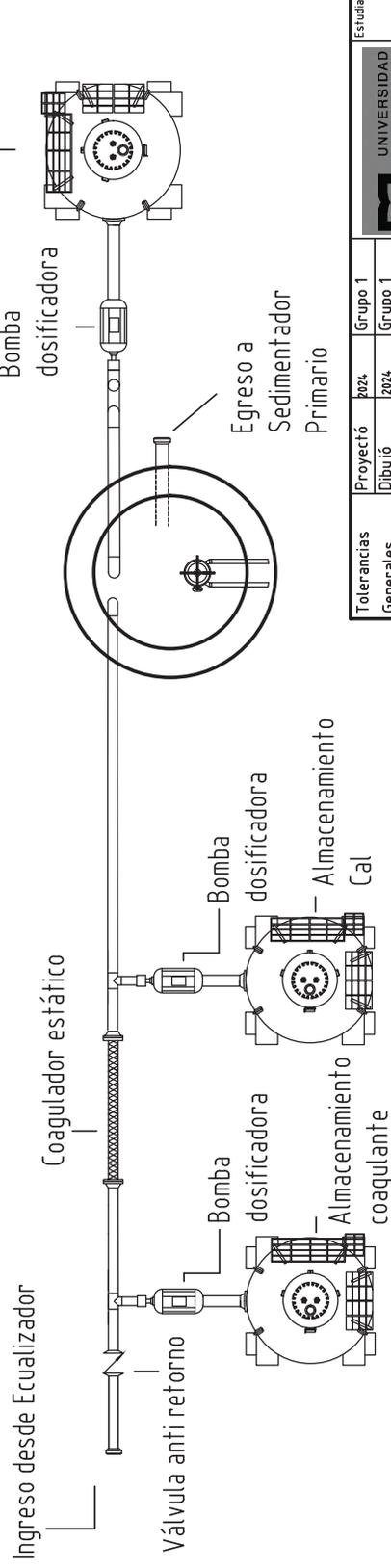


Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	Estudiante	Abri, Agustina	
	Dibujó	2024			Docentes	Guz, Lucas
	Revisó				Trabajo	Diseño PTEL para industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó				Trabajo	PFI
Escala		Denominación	Cámara de Ecuualización			
1:4						
Formato A3						
			N° plano		PFIABRIL2	
			Pág.		2	

VISTA LATERAL

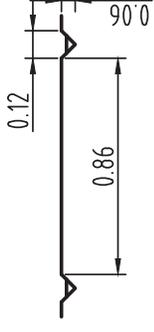


VISTA SUPERIOR

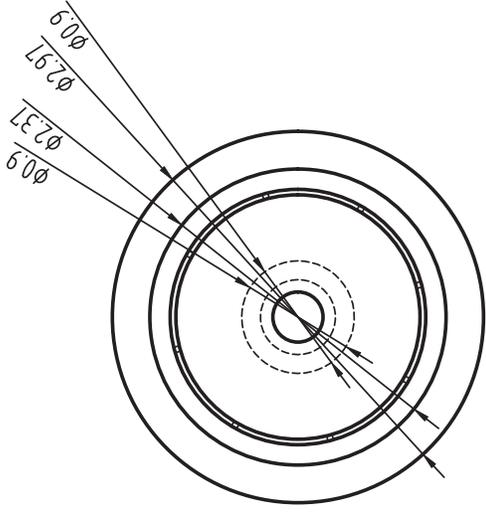


Tolerancias Generales	Proyectó	2024	Grupo 1	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	Estudiante	Abriel, Agustina
	Dibujó	2024	Grupo 1		Docentes	Guiz, Lucas
	Revisó				Cátedra	Diseño PTEL para industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó				N° plano	PFIAbri13
	Escala	1:4	Denominación	Coagulador estático y Tanque de Flocculación		
	Formato	A3				Pág. 3

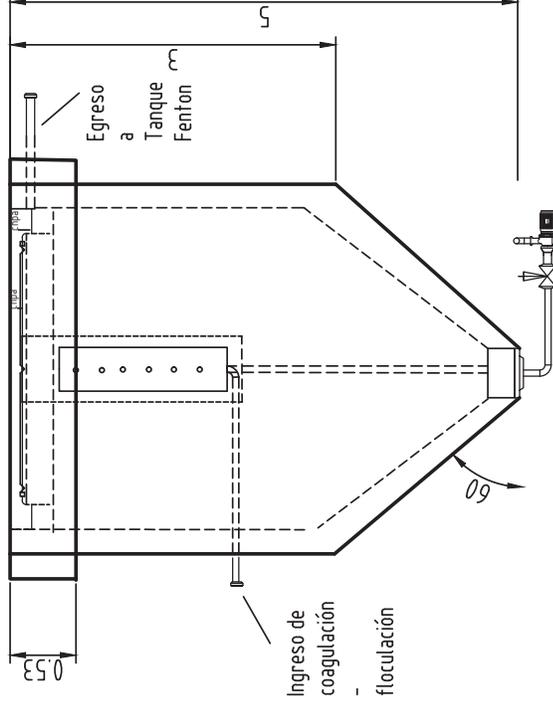
DETALLE
VERTEDERO



VISTA SUPERIOR

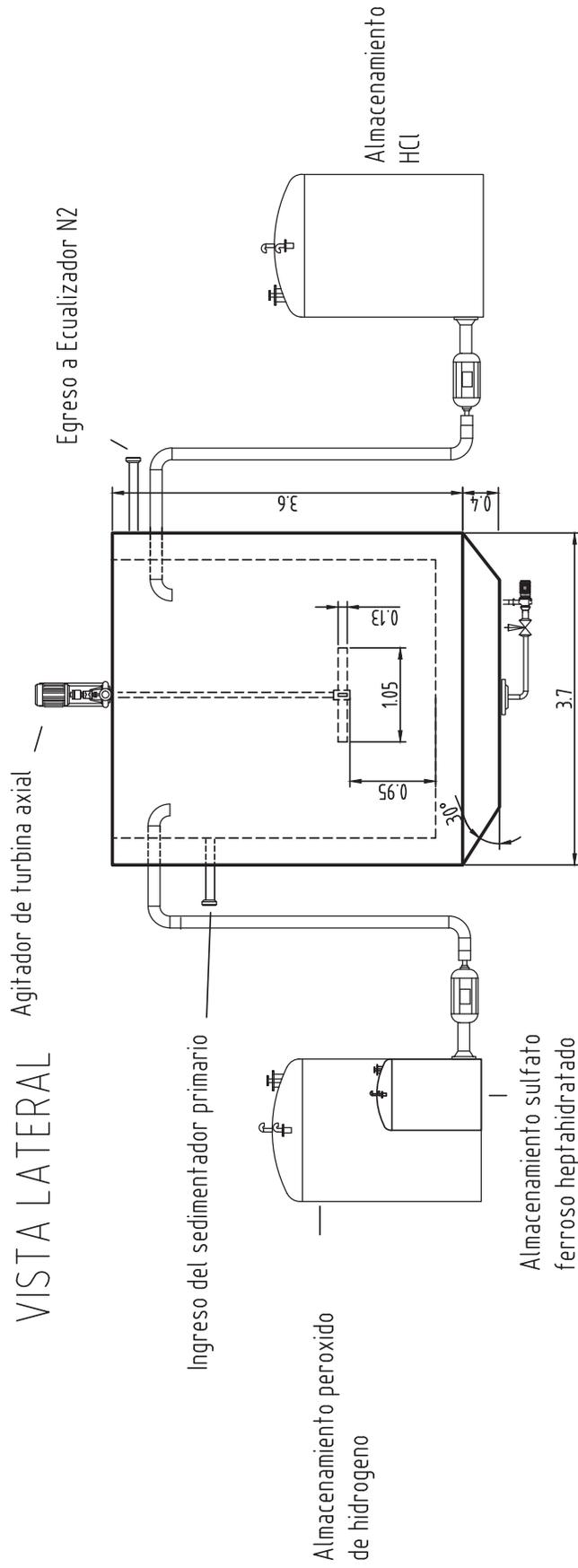


VISTA LATERAL

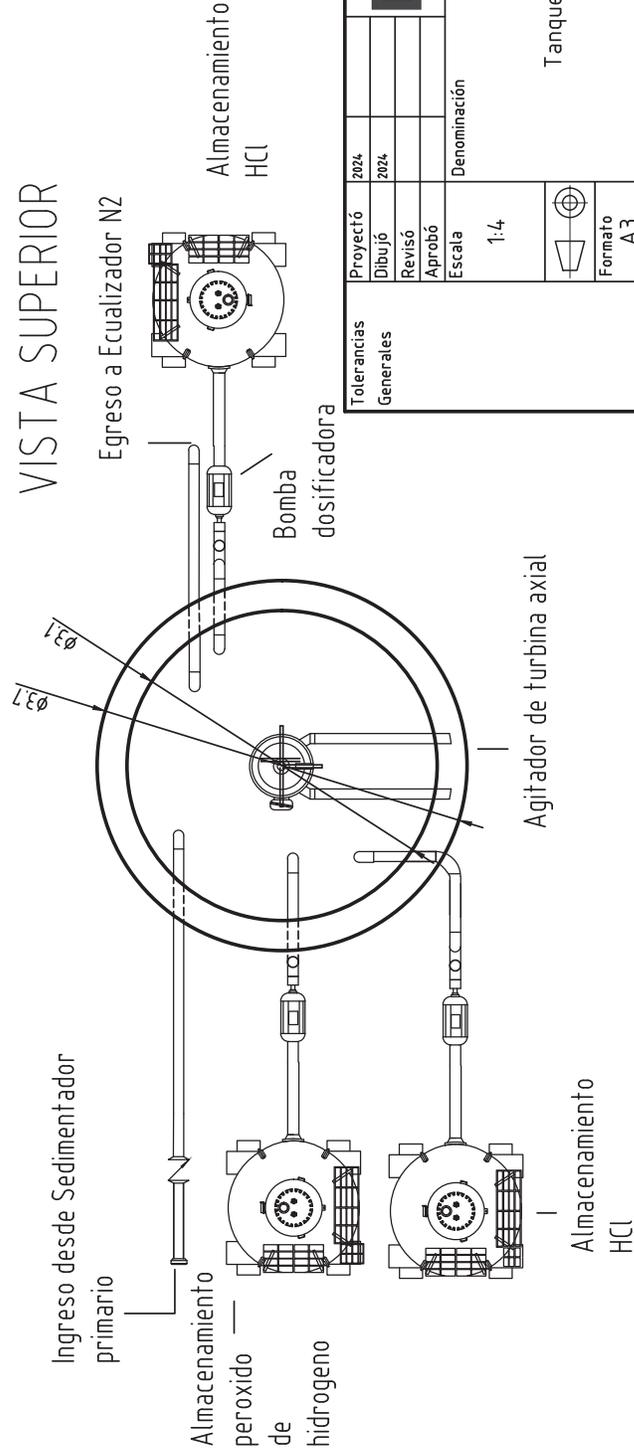


Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN	Estudiantes	Abriel, Agustina
	Dibujó	2024		Docentes	Guz, Lucas
	Revisó			Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó			Cátedra	PFI
Escala		1:4	Denominación	Sedimentador	
Formato		A3	N° plano		PFIAbri14
			Pág.		4

VISTA LATERAL

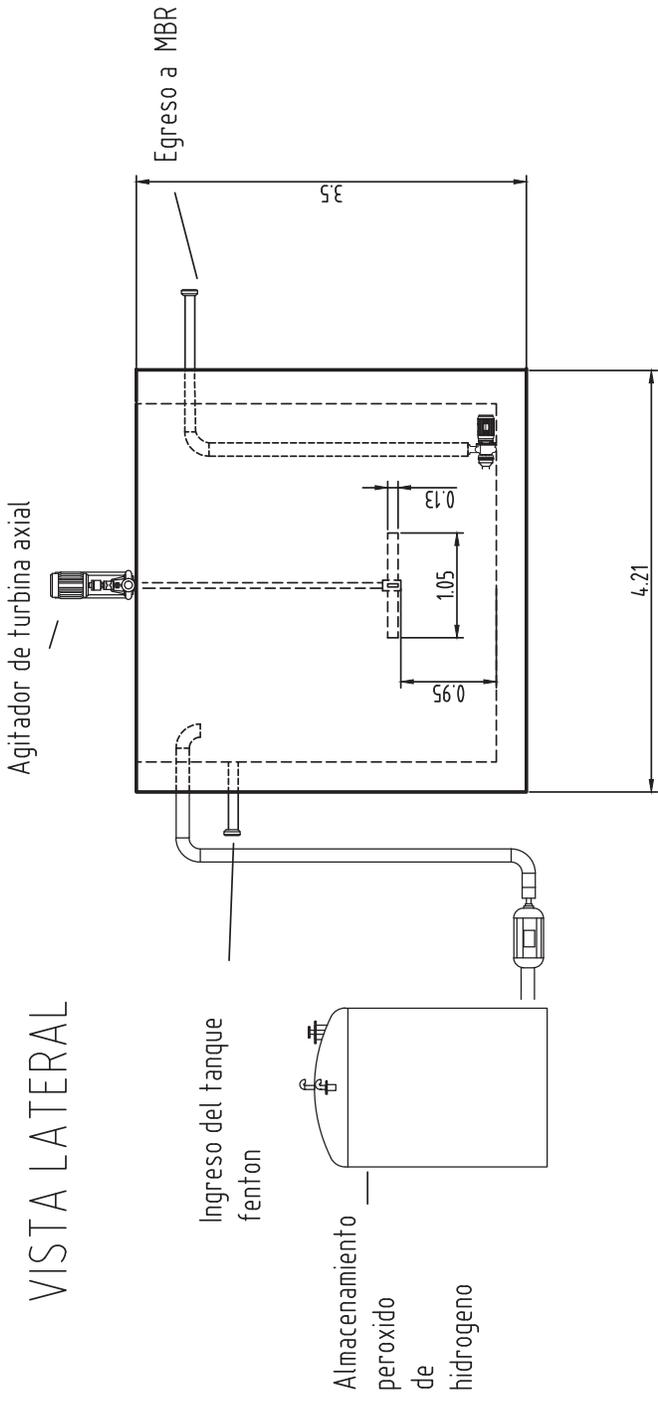


VISTA SUPERIOR

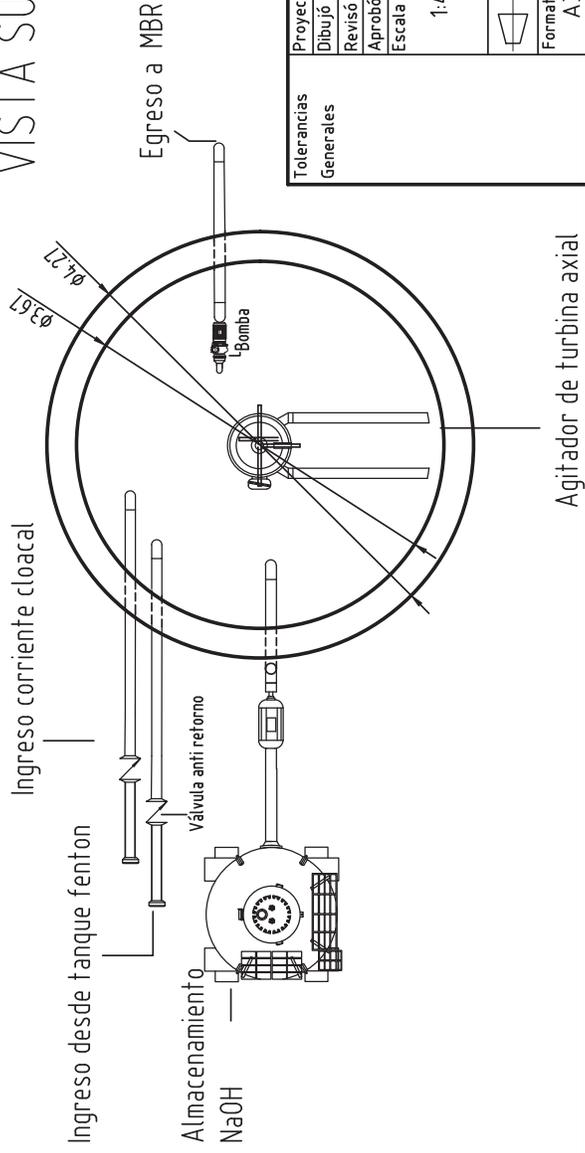


Tolerancias Generales		Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	Estudiantes	Abril, Agustina	
		Dibujó	2024		Docentes	Guz, Lucas	
		Revisó			Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar	
		Aprobó			Cátedra	PFI	
		Escala	1:4	Denominación	Tanque Fenton		
		Formato	A3		Nº plano	PFI/Abri15	Pág. 5

VISTA LATERAL



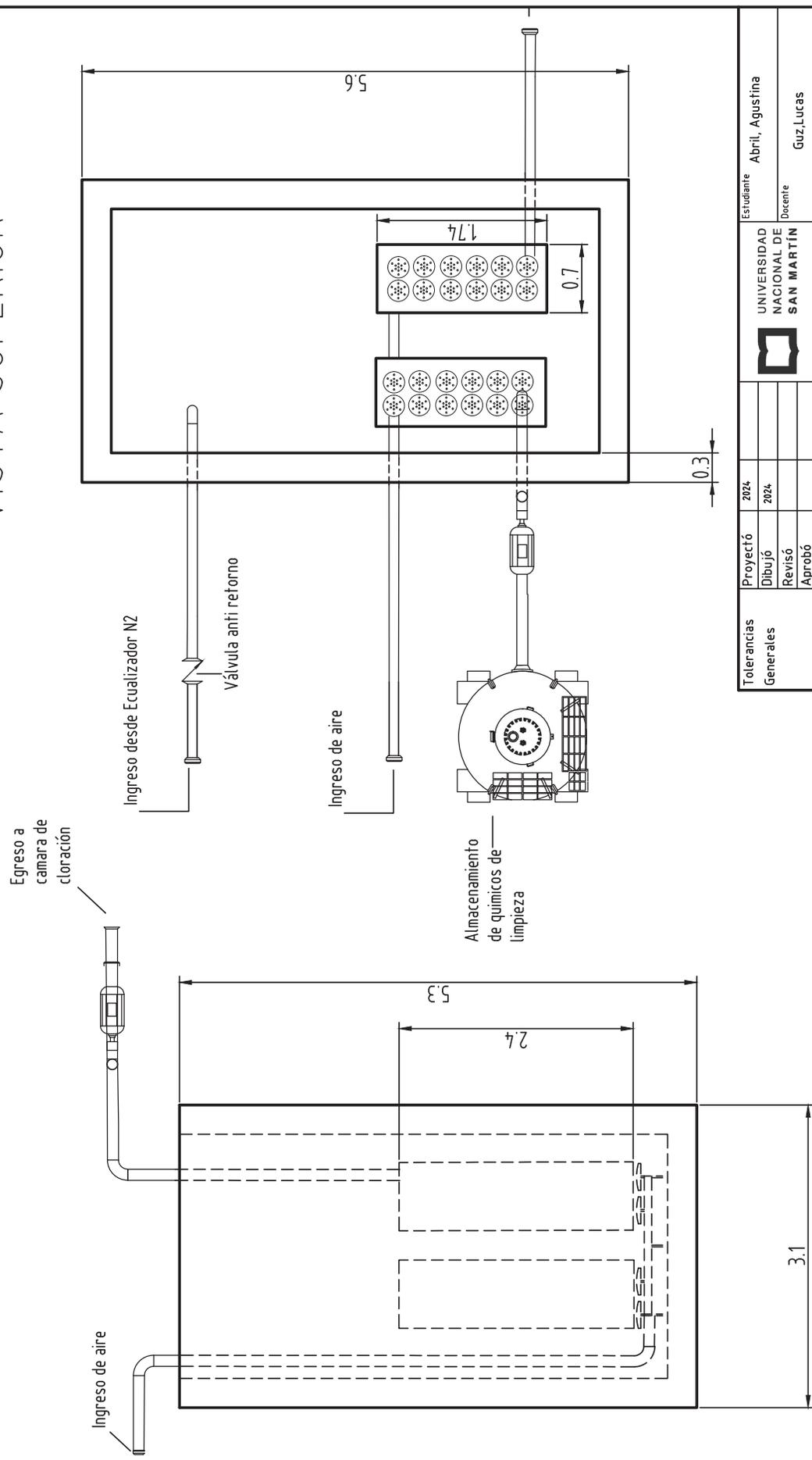
VISTA SUPERIOR



Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN	Estudiantes	Abriel, Agustina		
	Dibujó	2024		Docentes	Guz, Lucas		
	Revisó			Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar		
	Aprobó			Cátedra	PFI		
Escala		1:4	Denominación	Cámara de Ecualización N2	Nº plano	PFIAbri16	
Formato		A3				Pág.	6

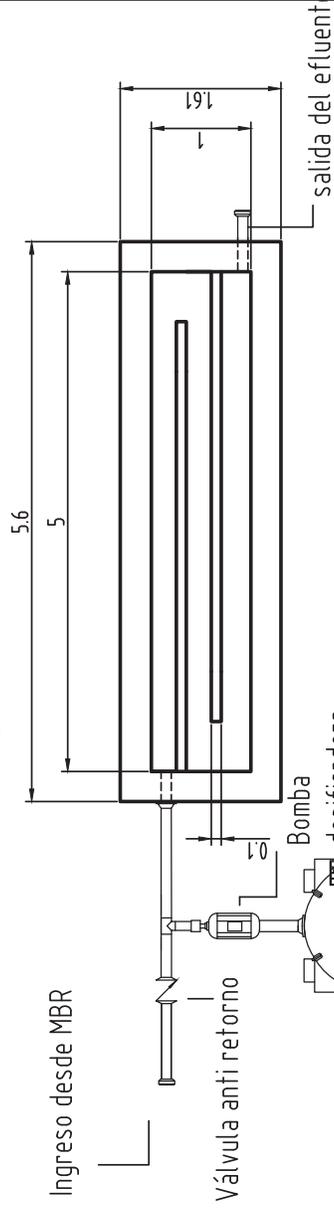
VISTA LATERAL

VISTA SUPERIOR

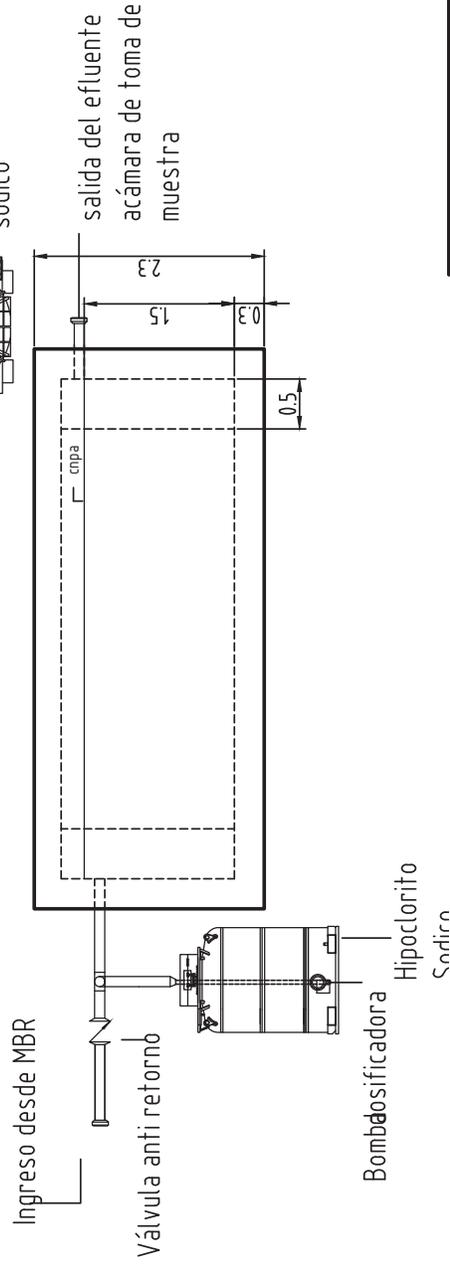


Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN	Estudiante	Abriel, Agustina
	Dibujó	2024		Docente	Guz, Lucas
	Revisó			Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó			Cátedra	PFI
Escala		1:4	Denominación	MBR	
Formato		A3			
			Nº plano	PFIAbri17	Pág. 7

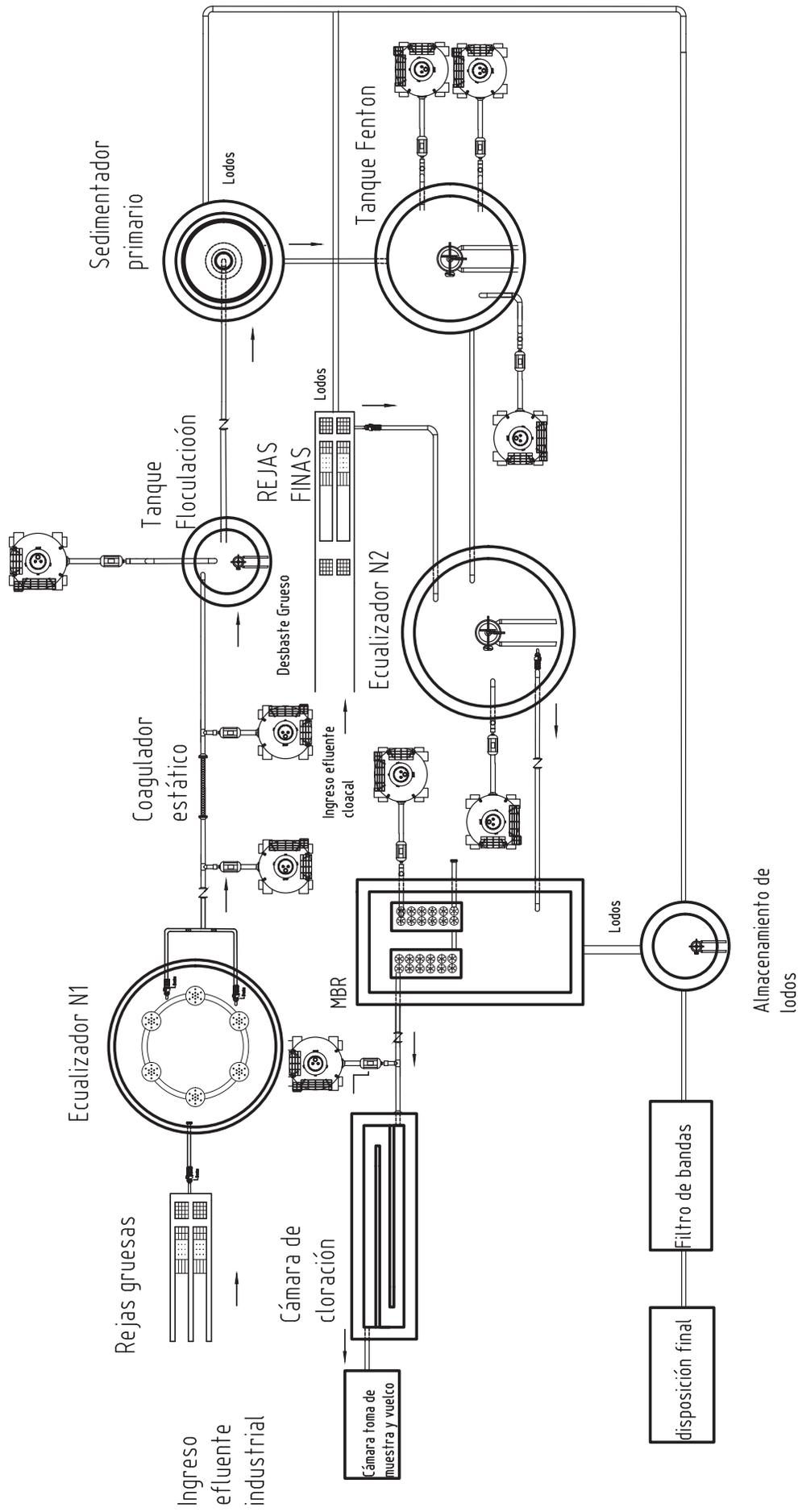
VISTA SUPERIOR



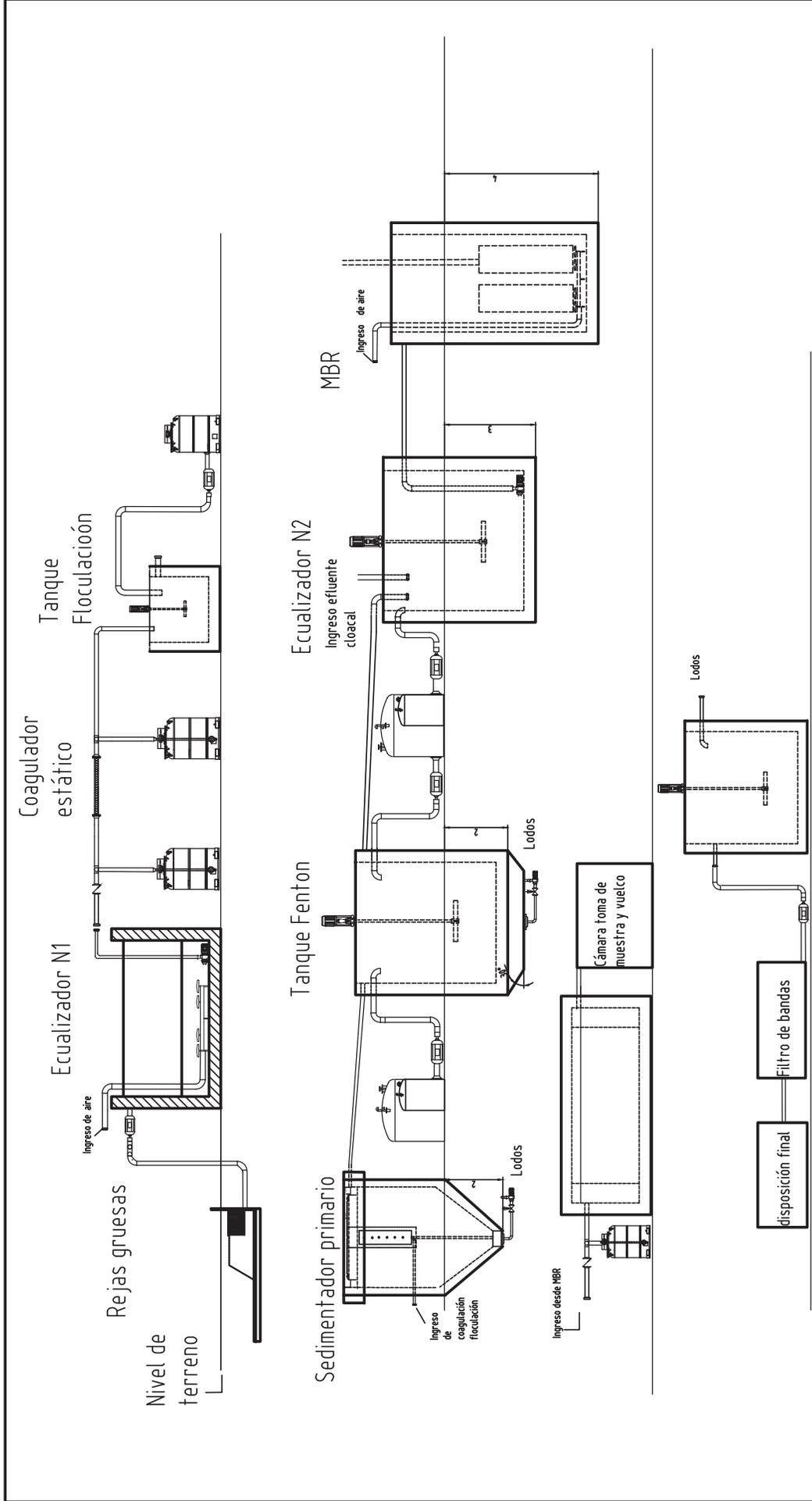
VISTA LATERAL



Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	Estudiante	Abriel, Agustina	
	Dibujó	2024			Docente	Guz, Lucas
	Revisó				Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó				Cátedra	PFI
Escala		1:8	Denominación	Cámara de Cloración		
				N° plano	PFIabri8	
					Pág. 8	



Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN	Estudiante	Abril, Agustina
	Dibujó	2024		Docente	Guz, Lucas
	Revisó			Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó			Cátedra	PFI
	Escala	1:10	Denominación	Vista superior del Sistema de Tratamiento de Efluentes	
				Nº plano	PFIAbri19
					Pág. 9



Tolerancias Generales	Proyectó	2024	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN	Estudiante	Abri1, Agustina
	Dibujó	2024		Docente	Guz, Lucas
	Revisó			Trabajo	Diseño PTEL industria de productos del cuidado del hogar
	Aprobó			Cátedra	PFI
Escala		1:10	Denominación	Vista lateral del Sistema de Tratamiento de Efluentes	
				Nº plano	PFIAbri10
					Pág. 10