



**Universidad
Nacional
de San Martín**

Proyecto Final Integrador

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de vidrios de seguridad automotriz en Zárate, provincia de Buenos Aires.

Carrera: Ingeniería Ambiental

Alumna: Micaela Muñoz Burgos (Legajo N° 8269)

Tutora: Elsa Gabriela Lopez Loveira

Co-Tutor: Gustavo Osvaldo Affranchino



Índice

Resumen	7
1. Capítulo 1: Introducción	9
1.1. Problemática ambiental del proyecto	9
1.2. Objetivos	10
1.2.1. Objetivos generales	10
1.2.2. Objetivos específicos	10
1.3. Justificación del proyecto	10
2. Capítulo 2: Diagnóstico	11
2.1. La industria de cristales de seguridad en automotriz	11
2.1.1. Vidrio templado	11
2.1.2. Vidrio laminado	12
2.1.3. Valor agregado	12
3. Capítulo 3: Estudios preliminares	13
3.1. Localización y accesos	13
3.2. Instalaciones y servicios	14
3.3. Descripción del proceso productivo	15
3.3.1. Líneas de producción	15
3.3.2. Recepción y descarga de materias primas	16
3.3.3. Fabricación de vidrio templado	16
3.3.3.1. Corte, pulido y lavado	16
3.3.3.2. Esmaltado	16
3.3.3.3. Templado y curvado del vidrio	17
3.3.4. Fabricación de vidrio laminado	18
3.3.4.1. Corte, pulido y lavado	18
3.3.4.2. Esmaltado	18
3.3.4.3. Interleaving snowfloss	18
3.3.4.4. Armado de parejas	18
3.3.4.5. Curvado	19
3.3.4.6. Armado y laminado curvo	19
3.3.4.7. Cámara de vacío	19



3.3.5. Colocación de insertos	20
3.3.6. Depósito y expedición	20
3.3.7. Limpieza de instalaciones y unidades	21
3.4. Caracterización de residuos	21
3.4.1. Residuos sólidos	21
3.5. Caracterización del efluente líquido	22
3.5.1. Efluente industrial	22
3.5.2. Efluente cloacal	23
3.6. Análisis del efluente líquido	24
3.6.1. Sustancias solubles en éter etílico	25
3.6.2. Biodegradabilidad	25
3.7. Marco Normativo	25
4. Capítulo 4: Memoria descriptiva	27
4.1. Pretratamiento	27
4.1.1. Rejas	28
4.1.1.1. Efluente industrial	28
4.1.1.2. Efluente cloacal	29
4.1.2. Canasto	29
4.1.2.1. Efluente industrial	29
4.1.2.2. Efluente cloacal	30
4.1.3. Ecuador	30
4.2. Tratamiento primario	31
4.2.1. Coagulación y floculación	31
4.2.2. Sedimentador primario	32
4.3. Tratamiento secundario	33
4.3.1. Alternativa A	33
4.3.1.1. Lodos activos	33
4.3.1.2. Sedimentador secundario	34
4.3.2. Alternativa B	35
4.3.2.1. Lecho percolador	35
4.3.2.2. Sedimentador secundario	35



4.3.3. Alternativa C	36
4.3.3.1. Reactor MBR	36
4.4. Tratamiento terciario	37
4.4.1. Cloración	37
4.5. Tratamiento para reuso de agua en limpieza	37
4.5.1. Ultrafiltración	37
4.6. Cámara de muestreo y vertedero	39
4.7. Tratamiento de lodos	39
5. Capítulo 5: Análisis de alternativas A, B y C	40
6. Capítulo 6: Memoria de cálculo	43
6.1. Pretratamiento	43
6.1.1. Rejas	43
6.1.2. Canasto y tamiz	46
6.1.3. Ecuador	47
6.2. Tratamiento primario	51
6.2.1. Coagulación y floculación	51
6.2.2. Sedimentador primario	53
6.3. Tratamiento secundario	56
6.3.1. Alternativa A	57
6.3.1.1. Lodos activos	57
6.3.1.2. Sedimentador secundario	63
6.3.2. Alternativa B	64
6.3.2.1. Lecho percolador	64
6.3.2.2. Sedimentador secundario	66
6.3.3. Alternativa C	66
6.3.3.1. Reactor MBR	66
6.4. Tratamiento terciario	68
6.4.1. Cloración	68
6.5. Tratamiento para reuso de agua en limpieza	69
6.5.1. Ultrafiltración	69
6.6. Cámara de muestreo y vertedero	70



6.7. Tratamiento de lodos	71
6.8. Selección de alternativa	73
6.9. Sistema de conducción	75
6.9.1. Nivelación de unidades de tratamiento	75
6.9.2. Conducción a gravedad y presión	75
6.9.3. Cañerías	77
6.9.4. Pérdidas de carga	78
6.9.5. Sistema de bombeo	79
6.10. Monitorización y control	80
6.11. Laboratorio	82
7. Capítulo 7: Cómputo y presupuestos	83
7.1. CAPEX	83
7.2. OPEX	84
7.3. Evaluación de tratamiento tercerizado	85
7.4. Viabilidad económica del proyecto	85
8. Capítulo 8: Estudio de impacto ambiental	85
8.1. Descripción del proyecto	85
8.1.1. Introducción	86
8.1.2. Objetivo	87
8.1.3. Alcance	87
8.1.4. Localización	88
8.2. Etapas del proyecto	89
8.2.1. Etapa de construcción	89
8.2.2. Etapa de operación	90
8.2.3. Etapa de cierre	91
8.3. Línea de base ambiental	92
8.3.1. Medio físico	92
8.3.1.1. Geomorfología	92
8.3.1.2. Edafología	93
8.3.1.3. Sismología	94
8.3.1.4. Hidrología	94



8.3.1.4.1. Superficial	94
8.3.1.4.2. Subterránea	96
8.3.1.5. Calidad del aire	97
8.3.1.6. Ruido	98
8.3.1.7. Climatología	98
8.3.1.7.1. Temperatura	98
8.3.1.7.2. Precipitaciones	99
8.3.1.7.3. Viento	99
8.3.1.7.4. Humedad	100
8.3.1.7.5. Tipo de clima	100
8.3.2. Medio biótico	100
8.3.2.1. Flora	100
8.3.2.2. Fauna	101
8.3.2.3. Áreas naturales protegidas	102
8.3.2.4. Especies amenazadas	103
8.3.3. Medio socioeconómico	105
8.3.3.1. Contexto regional	105
8.3.3.2. Aspectos demográficos	105
8.3.3.3. Aspectos de vivienda	105
8.3.3.4. Educación y salud	106
8.3.3.5. Infraestructura y accesos	106
8.3.3.6. Actividades socioeconómicas	107
8.3.3.7. Valor histórico, cultural y turístico	108
8.4. Área de influencia del proyecto	109
8.5. Análisis de sensibilidad ambiental	110
8.6. Identificación de aspectos e impactos ambientales	111
8.6.1. Etapa de construcción	111
8.6.2. Etapa de operación	112
8.6.3. Etapa de cierre	114
8.6.4. Valoración de los impactos	115
8.7. Análisis de riesgos	116



8.8. Plan de gestión ambiental	120
8.8.1. Medidas de mitigación	120
8.8.2. Programa de capacitación ambiental	122
8.8.3. Programa de seguimiento y control	123
8.8.4. Programa de comunicación	123
8.8.5. Programa de auditorías	124
8.8.6. Plan de contingencias	125
8.9. Conclusiones del EsIA	126
9. Capítulo 9: Planos	126
10. Capítulo 10: Conclusiones	128
11. Capítulo 10: Bibliografía	130
12. Capítulo 13: Anexos	136
12.1. Anexo 1 - Capítulo 3	136
12.2. Anexo 2 - Capítulo 4	142
12.3. Anexo 3 - Capítulo 6	143
12.4. Anexo 4 - Capítulo 7	179
12.5. Anexo 5 - Capítulo 8	186
12.6. Anexo 6 - Capítulo 9	189



Resumen

El proyecto se centra en el diseño y desarrollo teórico-técnico de una planta de tratamiento de efluentes líquidos (PTEL) para una industria de vidrios de seguridad automotriz ubicada en la localidad de Zárate, Provincia de Buenos Aires. Este diseño tiene como objetivo garantizar que los efluentes industriales, descargados en el Río Paraná de las Palmas, cumplan con los parámetros establecidos por la normativa ambiental para vertidos en cuerpos de agua superficial. Otro de los objetivos principales del diseño es la recuperación de agua tratada para su reutilización en la limpieza de pisos industriales, implementando para ello guías técnicas basadas en distintos lineamientos internacionales, como los propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

La planta tratará un volumen estimado de 114 m³/día de efluente industrial y 30 m³/día de efluente cloacal. Dado que la zona carece de red cloacal, la empresa asumirá la responsabilidad de tratar los efluentes cloacales generados. Los efluentes industriales provienen principalmente del lavado de equipamiento, superficies y del proceso productivo, y presentan características como alta demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos en suspensión, grasas y aceites.

Sin un tratamiento adecuado, estos efluentes representan una fuente significativa de contaminación ambiental, lo que resalta la importancia de implementar una PTEL eficiente y conforme a los estándares regulatorios.

El proyecto aborda la problemática ambiental mediante un diagnóstico detallado, acompañado de una descripción del proceso productivo de la industria, las corrientes de residuos y efluentes líquidos generados. A partir de esta información, se realiza una caracterización del efluente líquido y un análisis de la normativa aplicable para los vertidos y reutilización. Con base en estos estudios, se proponen tres alternativas de tratamiento consideradas óptimas para el caso en análisis.

Para cada alternativa, se elabora una memoria descriptiva y de cálculo, junto con un análisis comparativo basado en criterios como la eficiencia de remoción de DBO, DQO y nutrientes, la generación de lodos, el espacio requerido para su instalación, la viabilidad económica, los costos de inversión y operación, y la independencia de factores climáticos.

La alternativa seleccionada consiste en el diseño de un tren de tratamiento compuesto por las siguientes unidades: rejas finas y canasto, equalizador, coagulador



estático, cámara de floculación, sedimentador primario y un biorreactor de membrana (MBR). Además, se diseña un sistema para el tratamiento de lodos, que incluye un espesador por gravedad, un tanque de acondicionamiento con cal, un filtro prensa y bins de acopio. Por último, se propone un sistema de ultrafiltración para el tratamiento y recuperación de agua en actividades como la limpieza de pisos, lo que refuerza el compromiso del proyecto con la sostenibilidad y la gestión responsable del recurso hídrico. El proyecto también contempla el diseño del sistema de conducción necesario para la operación integral de la planta.

Por último, se desarrolla el cómputo y presupuesto detallados dando como resultado un presupuesto asociado a la inversión inicial de US\$288.866, y los costos operativos son de US\$17.110. Adicionalmente, se presentan los planos de las unidades de tratamiento y el estudio de impacto ambiental (EsIA), junto con un Plan de Gestión Ambiental que busca minimizar, controlar y mitigar los impactos identificados. Como resultado de este análisis integral, se concluye que el proyecto es viable desde los puntos de vista técnico, económico, social y ambiental.



1. Capítulo 1: Introducción

1.1. Problemática ambiental del proyecto

La industria automotriz ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo y evolución de la sociedad. Desde su creación a finales del siglo XIX, los vehículos han transformado la manera en la que nos movilizamos, transportamos productos y nos conectamos con el mundo.

La importancia de la industria automotriz se evidencia en su contribución al desarrollo económico, la creación de puestos de trabajo y la mejora de la calidad de vida, siendo una de las actividades más significativas de la economía argentina. Las terminales automotrices se caracterizan por ser un sector de industria atomizada con un pequeño número de empresas extranjeras. Por otro lado, la actividad autopartista cuenta con una extensa red de productores locales que proveen productos elaborados con gran valor agregado (Carolina Sessa, 2020).

Traducido a números, el sector genera más de 70.000 puestos de trabajo directos, siendo el 6% del empleo industrial; es un sector altamente exportador, representando el 33% de las exportaciones de manufacturas de origen industrial y el 8% de las exportaciones totales, según el informe de Intercambio Comercial Argentino (ICA) publicado por INDEC (2022).

A lo largo del tiempo, la industria automotriz ha evolucionado constantemente debido a avances tecnológicos, cambios en las preferencias del mercado y la necesidad de abordar preocupaciones ambientales, desde los primeros modelos de automóviles con motores de combustión interna hasta los modernos vehículos eléctricos e híbridos.

Considerando que el agua es un recurso limitado y vital, tanto para los procesos de fabricación como para la vida en general, este proyecto busca proponer tres alternativas para tratar los efluentes industriales generados en la industria automotriz de vidrios de seguridad, y también los efluentes cloacales. Además, se propone una alternativa para el recupero del agua para su reincorporación en la rutina de limpieza de pisos. La planta de tratamiento de efluentes comprende una serie de operaciones unitarias físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que tienen como objetivo eliminar y/o reducir los contaminantes generados durante la producción.



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos generales

El objetivo general del proyecto es desarrollar una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una empresa autopartista automotriz dedicada a la fabricación de vidrios de seguridad, de modo tal de cumplir con los valores de vuelco establecidos por la normativa y por lineamientos internacionales, de forma tal de reutilizar el agua tratada para la limpieza general, con el fin de reducir el consumo del recurso.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente proyecto se describen a continuación:

- Desarrollar y comparar tres alternativas de procesos de tratamiento, considerando el lugar disponible, el presupuesto disponible, la generación de barros y la remoción de contaminantes, con el fin de obtener el tratamiento más eficiente.
- Cumplir con los parámetros límite de vuelco especificados en la Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA) de la provincia de Buenos Aires para la descarga a cuerpos de agua superficiales.
- Cumplir con los lineamientos internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) para la reutilización de agua en limpieza de pisos.
- Brindar los planos correspondientes de las unidades operativas.
- Realizar una evaluación de costos de inversión para la puesta en marcha de la planta de tratamiento y una estimación de costos operativos y mantenimiento.
- Elaborar el Estudio de Impacto Ambiental (EslA).

1.3. Justificación del proyecto

El vertido del efluente líquido generado por la industria automotriz de vidrios de seguridad se caracteriza por modificar las propiedades físicas y químicas del cuerpo de agua receptor, afectando los niveles y concentraciones naturales de diversos componentes químicos presentes en el mismo; además de introducir nuevas sustancias que pueden representar un riesgo para los organismos del ecosistema acuático, y por consecuencia, también para los organismos terrestres. Por lo tanto, es crucial implementar un tratamiento adecuado de estos desechos y evitar impactos negativos en el medio ambiente.



Este proyecto se centrará en el diseño de una planta de tratamiento para los efluentes líquidos generados por los procesos de producción de la industria automotriz y del efluente cloacal, además del recupero de agua. Por motivos de confidencialidad, no se revela la ubicación exacta de la empresa. Sin embargo, se indica que la industria se encuentra en Zárate, provincia de Buenos Aires, con descargas al Río Paraná de las Palmas.

2. Capítulo 2: Diagnóstico

La industria se encuentra dentro del Parque Industrial Zárate en la localidad de Zárate, provincia de Buenos Aires. La actividad industrial de la empresa es la producción de vidrios de seguridad para el rubro automotriz: parabrisas, lunetas y vidrios laterales. Estos se caracterizan por ser un tipo de vidrio laminado o templado. La producción abarca tres turnos que cubren las 24 horas de lunes a sábados. El personal está constituido por 363 personas, distribuidas en las áreas de administración, producción, operaciones técnicas, ventas, manufactura, limpieza, mantenimiento, servicios y personal ocasional. La superficie total del predio es de 21.482 m² y las instalaciones ocupan un total de 19.350 m² aproximadamente, lo que proporciona alrededor de 2.132 m² de espacio para la instalación de la PTEL.

2.1. La industria de cristales de seguridad en automotriz

Cuando nos referimos a vidrios seguros para las personas, hablamos de aquellos cristales que son altamente resistentes a la rotura o que, en caso de romperse, lo hacen de manera segura para evitar o reducir accidentes.

El vidrio común float, también llamado vidrio sin tratar o vidrio virgen, es aquel que no ha experimentado ningún tratamiento térmico después de ser producido en un horno float. Su característica principal radica en su tendencia a romperse de manera peligrosa para las personas, formando fragmentos grandes con bordes afilados y puntiagudos que pueden causar cortes, heridas y laceraciones. Su resistencia a la presión mecánica y a cambios bruscos de temperatura es limitada, por lo que no es adecuado para su uso en áreas donde pueda estar expuesto al impacto humano.

Entre los tipos de vidrios seguros se encuentran el vidrio templado y el vidrio laminado.



2.1.1. Vidrio templado

El vidrio templado es sometido a procesos térmicos para aumentar su resistencia en comparación con el vidrio float estándar. Este proceso implica aplicar compresión a las superficies exteriores y tensión a las internas, seguido de un rápido enfriamiento tras el calentamiento inicial. Estas tensiones hacen que, en caso de rotura, el vidrio se fragmenta en pequeños trozos granulares en lugar de astillarse en grandes fragmentos afilados, lo que reduce el riesgo de lesiones ^[5]. En la industria automotriz, el vidrio templado se utiliza comúnmente en los laterales y la luneta de los vehículos.

2.1.2. Vidrio laminado

Los vidrios laminados se componen de dos o más capas de vidrio plano colocadas una sobre otra, unidas mediante una lámina de polivinil butiral (PVB) que se aplica con presión y calor (figura 1). Esta configuración permite que, en caso de impacto, la película de PVB absorba la energía del choque y el vidrio se mantenga pegado.

Este tipo de vidrio se considera seguro debido a que, en caso de rotura, los fragmentos de vidrio permanecen adheridos a la lámina de PVB en lugar de desprenderse, lo que proporciona una barrera de protección y retención contra impactos de personas u objetos. Además, puede utilizarse para controlar la luminosidad y el resplandor solar, filtrar los rayos UV y reducir el ruido como vidrio acústico ^[6]. En la industria automotriz el vidrio laminado se emplea típicamente en el parabrisas de los vehículos.

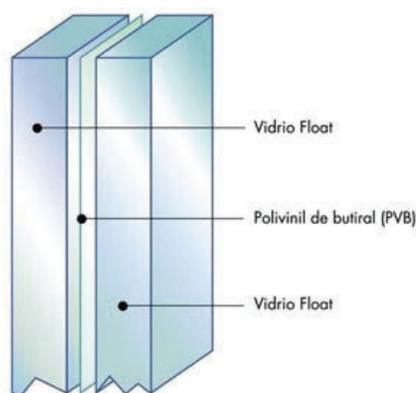


Figura 1. Representación gráfica de la composición de un vidrio laminado. Fuente: Acrystalarte.

2.1.3. Valor agregado

Durante el proceso de agregado de valor, se integran elementos tanto funcionales como estéticos en la pieza de vidrio. Estos elementos pueden incluir soportes para sensores



de lluvia, cámaras, molduras, perfiles extruidos, pasadores de posición, separadores, soportes para elevadores de vidrio, material aislante acústico, terminales de antena y de desempañador.

3. Capítulo 3: Estudios preliminares

3.1. Localización y accesos

La industria cuenta con una planta productiva en la provincia de Buenos Aires dentro del Parque Industrial Zárate, zona industrial exclusiva apta para la instalación de establecimientos industriales de primera, segunda y tercera categoría, de acuerdo al artículo 15 de la Ley 11.459, reglamentada por el decreto 1.741/96 ^[4].

El parque industrial se ubica sobre las calles Camino de la Costa Brava y Camino de Santa Ana (figura 2).

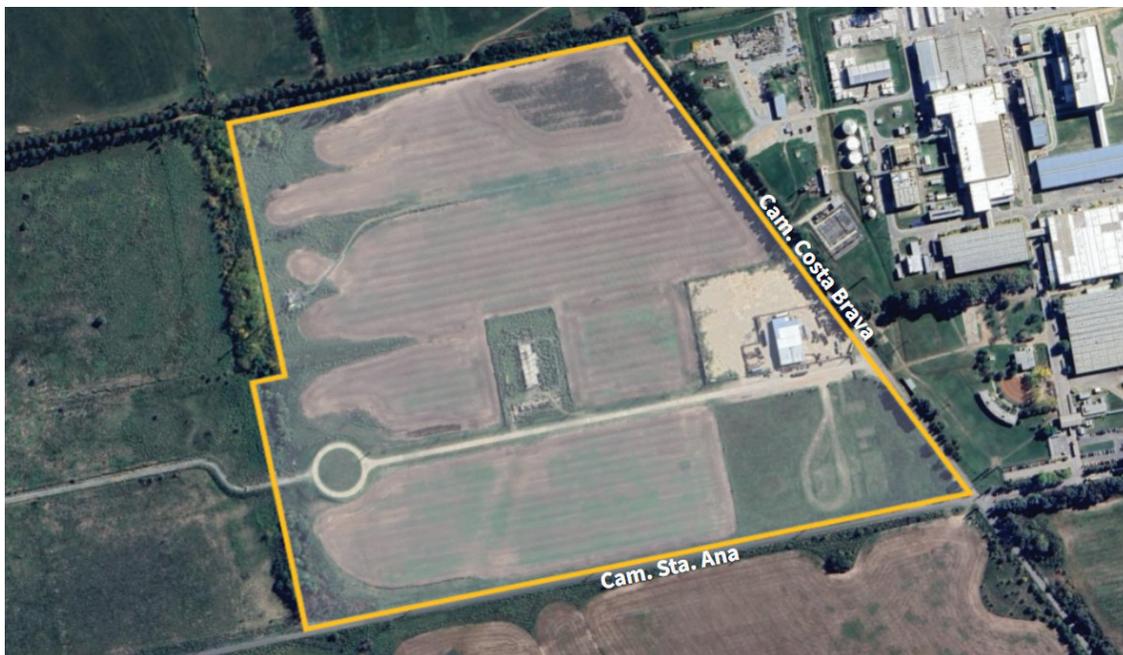


Figura 2. Ubicación del Parque Industrial Zárate. Fuente: Elaboración propia.

El municipio de Zárate se encuentra a una distancia de 85 kilómetros de la capital de Buenos Aires. Sin embargo, su proximidad a la costa del Río Paraná de las Palmas facilita su conexión por vías fluviales con los mercados regionales. Además, cuenta con una red de comunicaciones terrestres que incluye las rutas Nro. 6, 8, 9, 12 y 193, así como líneas ferroviarias como T.M. y TBA, las cuales sirven como canales para la distribución de la producción industrial, tanto de la zona Buenos Aires-Rosario, como del oeste y norte del



país. Asimismo, dispone de acceso aéreo a través del Aeródromo Zárate, que abarca una extensión de 130 hectáreas. Por último, la presencia de la autopista Panamericana facilita el acceso a la ciudad de Buenos Aires, y conecta con Brasil, Uruguay, Paraguay y Chile.

3.2. Instalaciones y servicios

La superficie del predio tiene una extensión total cercana a 2,1 hectáreas y ocupa la fracción 30, como se observa en la figura 3. La industria cuenta con una planta productiva, un almacén de insumos, un almacén de repuestos, dos depósitos de unidades, un comedor con cocina, vestuarios y sanitarios, zona de oficinas, una playa de maniobras con entrada y salida de camiones, un estacionamiento y un terreno disponible para la instalación de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la industria.

El parque industrial provee de energía eléctrica distribuida por la Cooperativa Eléctrica de Zárate y gas natural odorizado. El abastecimiento de agua se hace por medio de una perforación por predio, siendo el caudal máximo de explotación 10 m³/hora/hectárea.

Al analizar el sitio de emplazamiento en el mapa del Ministerio de infraestructura y servicios públicos del gobierno de la provincia de Buenos Aires se observa que no cuenta con red cloacal, por lo tanto la empresa debe encargarse de tratar los efluentes cloacales generados. La factibilidad de vuelco de efluentes industriales y domiciliarios es de 100 L/seg, previamente tratadas, donde se aprovecha la pendiente natural del terreno (sureste-noroeste), según la información brindada por el Parque Industrial de Zárate ^[4]. El desagüe industrial, pluvial y cloacal de cada lote llega a la cámara frente a la fracción que a su vez conecta con el ramal principal y dirige los efluentes hacia el Río Paraná de las Palmas, que es el cuerpo receptor. De esta forma, únicamente se debe realizar la conexión de la PTEL a la cámara del Parque Industrial Zárate, considerando que el caudal a volcar por la empresa se encuentra por debajo del límite máximo establecido.



Figura 3. Fracciones enumeradas del Parque Industrial Zárate.

3.3. Descripción del proceso productivo

3.3.1. Líneas de producción

La principal actividad de la planta es la fabricación de vidrios de seguridad templados y laminados para la industria automotriz, partiendo de un vidrio float (plano). Las tareas se pueden dividir en cinco áreas principales:

- Recepción y descarga de materias primas
- Fabricación de vidrio templado
- Fabricación de vidrio laminado
- Colocación de insertos
- Depósito y expedición
- Limpieza de instalaciones y unidades



3.3.2. Recepción y descarga de materias primas

Los camiones con paquetes de planchas de vidrio float con forma rectangular, ingresan a la playa de maniobras, donde se descarga. Los materiales ya descargados se depositan en el almacén de insumos.

3.3.3. Fabricación de vidrio templado

3.3.3.1. Corte, pulido y lavado

Las siguientes operaciones se realizan de forma automática. El proceso se divide en carga de vidrio float por medio de la utilización de ventosas, marcado de forma, quiebre y descarte de sobrantes, pulido, lavado y secado. También se realiza el agujereado, lavado y secado de las piezas que deben ser mecanizadas. Finalizadas estas operaciones, las piezas siguen uno de los dos caminos posibles: Esmaltado y luego templado, o directamente a templado.

3.3.3.2. Esmaltado

En esta sección se pintan las lunetas y ventanas laterales mediante un proceso llamado serigráfico. Las pinturas utilizadas se vitrifican en los hornos y el esmaltado se realiza de forma automática. Hay dos tipos de esmaltado: El de banda negra y el de luneta térmica.

La operación consiste en pintar primero la banda negra y luego, si corresponde, la luneta térmica. Para ello, el vidrio es llevado por cintas hasta colocarse debajo de la pantalla. El pintado se produce cuando una manigueta impresora arrastra la pintura sobre la pantalla, ejerciendo presión.

Una vez que la pantalla sube a su posición inicial, la pieza es llevada por cintas a la zona de secado de la banda negra y se realiza en un horno eléctrico. La máquina que realiza estas operaciones se encuentra en un recinto aislado y acondicionado térmicamente.

En caso de que se requiera la producción de lunetas térmicas, se realiza un esmaltado especial de forma manual. Una vez terminada una serie de piezas se procede a la limpieza de las pantallas.



3.3.3.3. Templado y curvado del vidrio

Para el desarrollo de estas operaciones se utiliza un horno, totalmente automático. Para aprovechar al máximo la capacidad del horno, se coloca en el ingreso más de una pieza de vidrio por vez. El número de piezas ingresadas depende del tamaño de las mismas.

Todas las variables operativas del horno se controlan desde computadoras instaladas en las salas de control. Las piezas circulan por el interior del horno por medio de rodillos, calentándose hasta alcanzar la temperatura ideal de la masa del vidrio.

Al comienzo la pieza a templar es vidrio plano, la cual ingresa a unos soplantes planos ubicados por encima y por debajo de la pieza, donde se lo somete a presión de aire y enfriamiento. Luego, la pieza pasa por la zona de calentamiento y entra en la de curvado, donde automáticamente es succionada y depositada sobre una matriz dispuesta a tal fin, formándose la curvatura de la pieza por gravedad. A continuación de esta operación, la pieza curvada ingresa a una zona de soplantes, y luego de enfriamiento.

En la figura 4, se observa el diagrama del proceso productivo del vidrio templado.

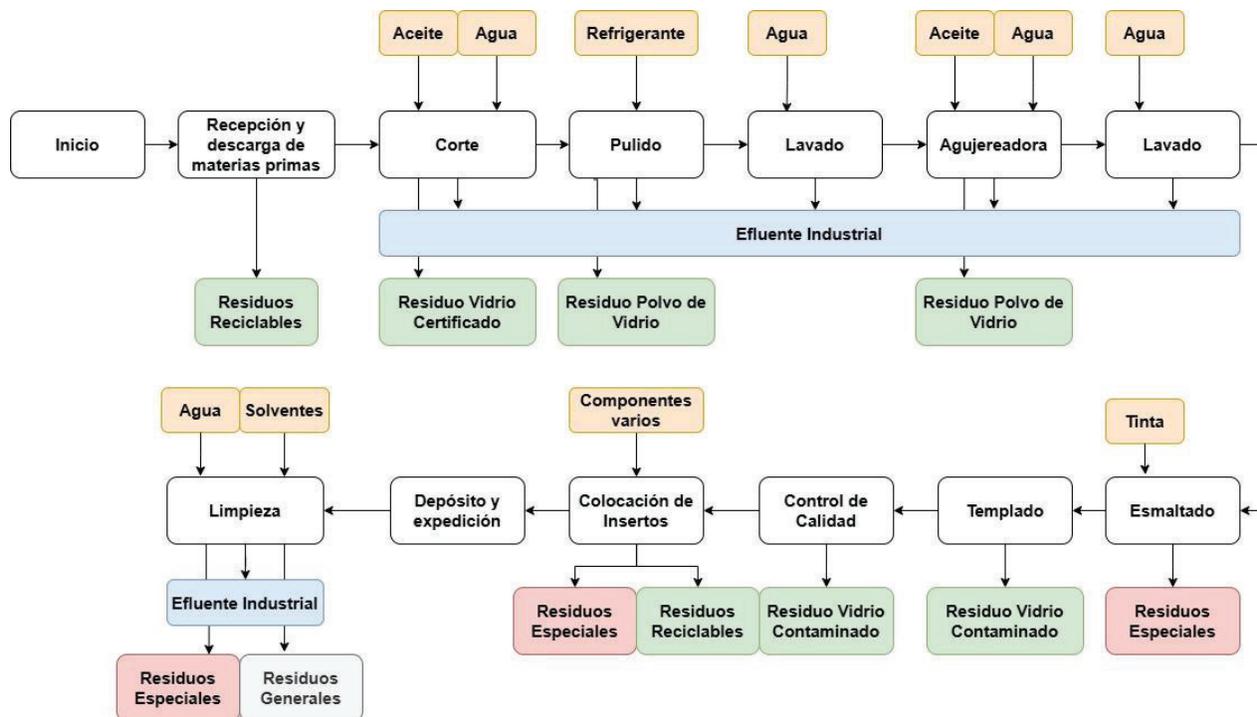


Figura 4. Diagrama del proceso productivo del vidrio templado. Fuente: Elaboración propia.



3.3.4. Fabricación de vidrio laminado

3.3.4.1. Corte, pulido y lavado

El proceso de vidrio laminado arranca con vidrio float en las líneas donde es cargado en la cinta transportadora mediante sopapas de forma automática. Luego, el vidrio es cortado automáticamente con el formato del parabrisas requerido y en la misma unidad se realiza el pulido y lavado del mismo.

Por consiguiente, se efectúa el secado por medio de aire a presión con el objetivo de eliminar gotas de agua presentes en la superficie del vidrio. De esta forma, se asegura una distribución pareja del polvo de diatomeas (snowfloss) sobre el vidrio denominado hembra, que es el paso siguiente al secado. Para los casos en los que los parabrisas van a ser pintados, se envía el vidrio más chico del par, denominado vidrio macho a la sección de esmalte.

3.3.4.2. Esmaltado

La operación consiste en pintar la banda negra sobre el vidrio macho. Se realiza de forma automática similar al pintado efectuado en vidrios templados. La máquina se encuentra en un recinto cerrado, acondicionado térmicamente y conectada por un tren de rodillos a la entrada del horno donde la pintura es curada.

3.3.4.3. Interleaving snowfloss

Consiste en el agregado de polvo de diatomeas al vidrio hembra (lado exterior) y macho (lado interior) del parabrisas, únicamente en el caso de que el vidrio macho no esté pintado. Si el parabrisas está pintado, sólo se agrega el polvo de diatomeas al vidrio hembra. De esta forma, se evitan rayaduras y que se peguen ambas láminas de vidrio en el horno de curvado.

3.3.4.4. Armado de parejas

El armado es realizado de forma manual y existen dos variantes:

1. Parabrisas no pintado

Un operario realiza un control visual de distorsión y defectos. Luego, arma la pareja y la lleva a una mesa contigua, y en caso de que el producto lo requiera, se realiza el pintado de la base de espejo. Luego, se colocan las parejas verticalmente en carros, separadas entre sí para ser llevados al horno de curvado.



2. Parabrisas pintado

La pareja se forma con un vidrio macho pintado en la sección de esmalte. El método de formación de parejas es el mismo, salvo que el pintado del sello y de la base de espejo (según el tipo de parabrisas), se hace en la etapa de esmaltado.

3.3.4.5. Curvado

El curvado se realiza en los hornos por medio de resistencias eléctricas que distribuyen el calor sobre la superficie del vidrio. Los hornos contienen cámaras de precalentamiento, curvado y recocido.

3.3.4.6. Armado y laminado curvo

Consiste en interponer entre el vidrio macho y hembra, una lámina de PVB, que mantiene unidas ambas caras del vidrio. El conjunto posee las mismas características ópticas del vidrio sin laminar.

La operación se realiza en un recinto climatizado (aire acondicionado y deshumidificador), debido al carácter higroscópico del PVB y para lograr una adherencia óptima.

3.3.4.7. Cámara de vacío

La cámara de vacío tiene como objetivo la evacuación del aire entre el PVB y ambas caras del vidrio, a través de la aplicación de calor y vacío. Luego son llevados a un autoclave, donde se refuerza la unión entre las láminas de vidrio y la lámina de PVB. Por último, se les realiza un control visual de calidad.

En la figura 5, se observa el diagrama del proceso productivo del vidrio laminado.

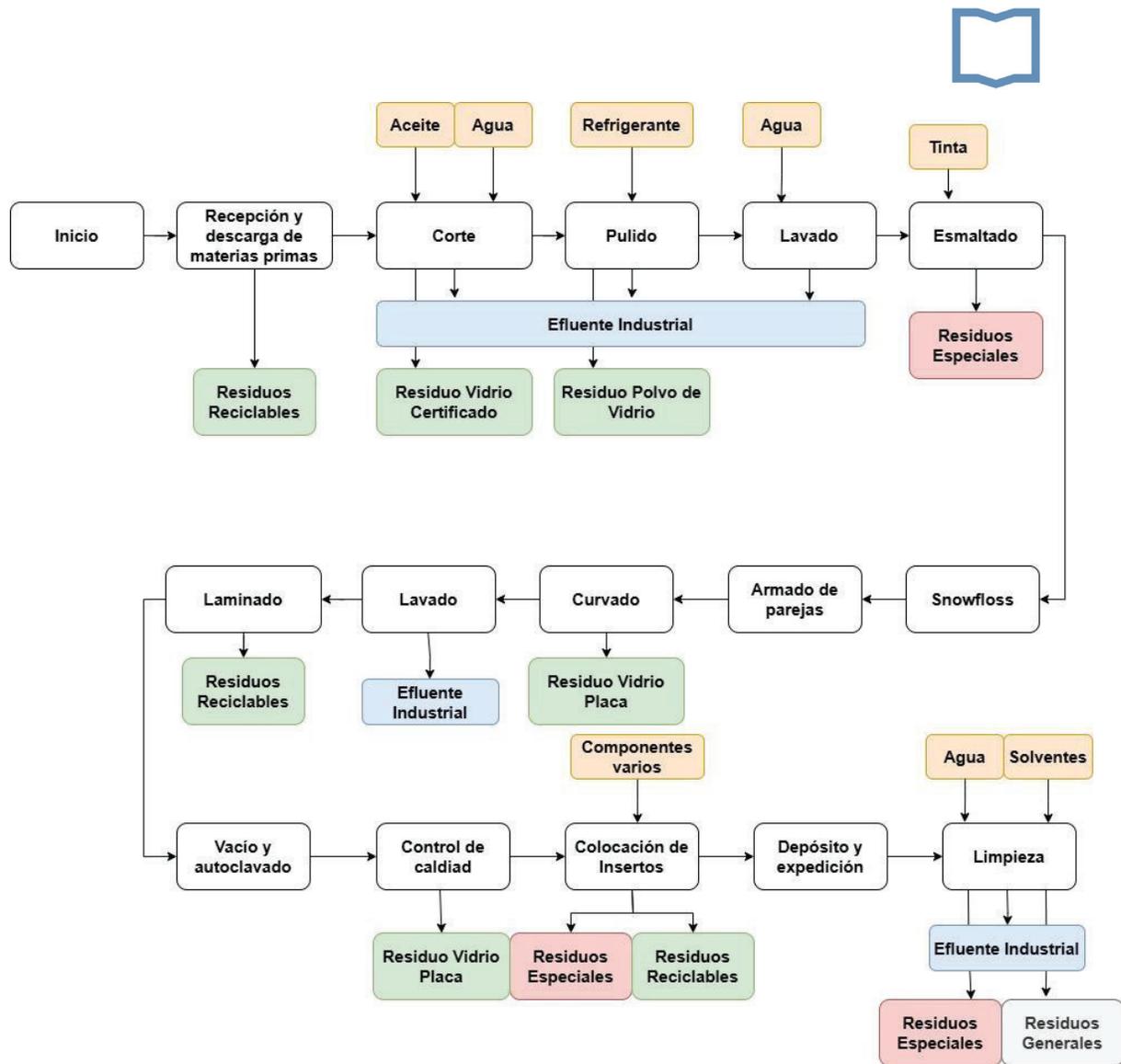


Figura 5. Diagrama del proceso productivo del vidrio laminado. Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Colocación de insertos

Los vidrios laminados y templados, que así lo requieran, son enviados al sector de colocación de insertos. En este sector, se realizan las operaciones de acondicionamiento y adherido de componentes al vidrio. Estos componentes pueden ser de tipo electrónico, eléctrico o piezas plásticas; requeridos o solicitados por los clientes. Las operaciones se realizan de forma manual, con ayuda de carros para el traslado de los vidrios.

3.3.6. Depósito y expedición

Si el producto cumple con el control de calidad, es enviado al depósito de productos terminados en donde permanece hasta su venta y expedición.



3.3.7. Limpieza de instalaciones y unidades

Al concluir cada ciclo de producción, se lleva a cabo una limpieza exhaustiva del equipamiento y las instalaciones de la fábrica. Este proceso tiene como objetivo eliminar suciedades, salpicaduras y derrames de productos intermedios que pudieran haber ocurrido. De este modo, se previene la contaminación de la siguiente tanda de piezas y se garantiza la calidad del producto final.

3.4. Caracterización de residuos

3.4.1. Residuos sólidos

Como resultado de su actividad, la industria genera tanto residuos industriales generales como especiales. Los residuos industriales provienen del sector administrativo y productivo, e incluyen principalmente desechos del comedor, baños, oficinas, áreas verdes, obra civil, cartón, papel, madera y diversos plásticos.

La industria cuenta con una segregación interna de residuos, para su posterior retiro y reciclaje. El principal residuo reciclable generado por la empresa corresponde a las distintas corrientes de vidrio, las cuales se dividen en:

- Vidrio certificado: Restos de vidrio crudo que no han sido sometidos a procesos de esmaltado, laminado, curvado y/o templado.
- Vidrio contaminado: Restos de vidrio esmaltado provenientes del proceso de templado y laminado, descartados antes del armado de parejas. Puede contener componentes provenientes de valor agregado.
- Vidrio placa: Restos de vidrio laminado generados durante o después del armado de parejas con lámina de PVB.
- Vidrio barrido: Restos de vidrio que caen al suelo y son recogidos, caracterizados por su impureza debido a la suciedad del piso.
- Polvo de vidrio: Descarte generado durante el pulido del vidrio templado y laminado.

Las corrientes de vidrio se acopian por separado en contenedores limpios y se transportan a una empresa para su reciclaje e incorporación al proceso productivo como materia prima.

En cuanto a los residuos especiales, estos se generan durante el esmaltado y la colocación de insertos. Están compuestos principalmente por trapos, paños, guantes, empaques contaminados con solventes, tintas, colorantes y adhesivos. Estos residuos se identifican y segregan en origen, se caracterizan según su corriente y peligrosidad, y se



almacenan en un depósito especial donde permanecen etiquetados en contenedores adecuados hasta su retiro por un transportista autorizado, para su tratamiento y disposición final segura.

3.5. Caracterización del efluente líquido

3.5.1. Efluente industrial

Para la caracterización del efluente industrial, primero se procedió a identificar los puntos de generación de los efluentes líquidos dentro del proceso productivo. En el proceso del vidrio laminado y templado se originan efluentes en las siguientes etapas:

- Corte, pulido, agujereadora de las piezas de vidrio float
- Lavado de unidades en los distintos procesos productivos
- El lavado de maquinaria

El segundo paso consistió en la caracterización del efluente para identificar los parámetros críticos, y a partir de estos, poder formular alternativas de tratamiento adecuadas. En la tabla 1 se presentan los valores de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan al efluente de la industria, obtenidos a partir de un muestreo llevado a cabo por un laboratorio (información brindada por la empresa).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de los puntos de generación dentro del proceso productivo del vidrio laminado y templado. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Unidad	Valor	Rango Bibliografía
Caudal medio diario	m ³ /d	114,0	
DQO	mgO ₂ /l	1.945,3	1300-2500 (Rincón et al., 2019; Güell et. al., 2017)
DBO ₅	mgO ₂ /l	772,9	550-950 (Rincón et al., 2019; Güell et. al., 2017)
pH	UpH	7,5-8,9	6,9-7,3 (Bach, 2021; Russell, 1974)
SST	mg/l	2.379,3	1800-2600 (Silvia & Torres, 2021)
SSEE	mg/l	330,0	280-400 (Silvia & Torres, 2021)
SS10´	ml/l	0,2	
SS2hs	ml/l	1,0	
Nitrógeno total	mg/l	18	
Fósforo total	mg/l	4	
Temperatura	°C	25,0	19-25 (Bach, 2021; Russell, 1974)



La limpieza de la maquinaria se realiza por sector productivo todos los días, ya que tanto las diatomeas como el polvo de vidrio generado tienden a endurecerse formando costras. Esto daña los equipos pudiéndose llegar a romper y/o provocar desvíos en la calidad del producto final.

Para contrastar estos valores con otras fuentes, se revisaron estudios sobre la caracterización de efluentes en la industria del vidrio y manufacturas similares (tabla 1 del Anexo 1):

- Güell et al. (2017) reporta valores de DQO entre 1500 y 2200 mgO₂/l y de DBO₅ entre 600 y 900 mgO₂/l, dentro del rango obtenido en este estudio.
- Rincón et al. (2019) analiza efluentes industriales en fábricas de vidrio en Colombia y los valores analizados de DQO se encuentran entre 1300 y 2500 mgO₂/l, y de DBO₅ entre 550 y 950 mgO₂/l, lo que coincide con las mediciones realizadas en esta industria.
- Silva & Torres (2021) estudia efluentes en fábricas de vidrio en Brasil, con valores de SST entre 1800 y 2600 mg/l, DQO entre 1600 y 2300 mgO₂/l, y SSEE en un rango de 280 a 400 mg/l.
- Bach (2021) y Russell (1974) señalan que el pH del efluente se halla entre 6,9 y 7,3, y la temperatura entre 19 y 25°C.

Estos muestran que los resultados que caracterizan al efluente en estudio son similares a otras industrias de vidrio y proporcionan una base sólida para la selección de tecnologías de tratamiento adecuadas.

3.5.2. Efluente cloacal

Como ya se mencionó, la industria también genera efluentes cloacales que serán incluidos en el diseño del tratamiento secundario para favorecer al mismo mediante la incorporación de microorganismos.

Su origen radica en duchas, sanitarios, limpieza general y cocina durante la jornada laboral de los empleados, la cual comprende de 3 turnos (mañana, tarde y noche) completando las 24 horas del día, de lunes a sábados, con un total de 363 empleados distribuidos en distintos sectores como finanzas, compras, logística, calidad, expedición, manufactura, mantenimiento, producción y otras áreas.



Estimando un consumo de agua de 120 litros/día (Metcalf & Eddy, 2003), 363 empleados, un recupero del 80% y utilizando la ecuación 1, se obtiene que el caudal medio cloacal generado en un día es 29,9 m³/día.

$$Q_{med}(m^3/d) = Empleados * Dotación(m^3/d) * 0,8 * (6 \text{ días hábiles} / 7 \text{ días de la semana}) \quad (1)$$

Del mismo modo que para el efluente industrial, se estudiaron los parámetros físicoquímicos del efluente cloacal, los cuales se obtuvieron mediante bibliografía [7], ya que cuentan con un amplio estudio y caracterización (tabla 2).

Tabla 2. Parámetros físicoquímicos del efluente cloacal. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Unidad	Valor
Empleados	nro.	363
Dotación empleada	L/persona/d	120,0
Retorno	%	80
Caudal	m ³ /d	29,9
DBO₅	mg/l	250,0
DQO	mg/l	500,0
SST	mg/l	300,0
Nitrógeno total	mg/l	40,0
Fósforo total	mg/l	7,0
Coliformes fecales	UFC/100 ml	10 ⁴ - 10 ⁶

3.6. Análisis del efluente líquido

Para definir los procesos y tecnologías adecuados para cada tratamiento, es fundamental analizar las características físicoquímicas de cada efluente y los contaminantes más críticos. Para ello, se dispone de la información proporcionada por la industria del vidrio automotriz.

Entre los contaminantes más relevantes en los efluentes de la industria se encuentran las sustancias solubles en éter etílico (SSEE), la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La concentración y la naturaleza de estos contaminantes proporcionan información sobre la toxicidad y biodegradabilidad de cada efluente, características esenciales para seleccionar los procesos de tratamiento adecuados.



3.6.1 Sustancias solubles en éter etílico

Las sustancias solubles en éter etílico presentes en los efluentes industriales incluyen aceites minerales, hidrocarburos, emulsionantes y grasas. Estos compuestos son tóxicos para los microorganismos utilizados en los tratamientos secundarios convencionales, por lo que es necesario implementar un tratamiento primario eficaz para asegurar una adecuada remoción posterior de estos contaminantes. En cambio, las SSEE presentes en el efluente cloacal provienen de la cocción y limpieza en la cocina.

3.6.2. Biodegradabilidad

Las elevadas cargas de DBO y DQO en el efluente industrial se originan en los restos de materias primas, productos intermedios y productos de limpieza (como solventes y agentes tensioactivos biodegradables) arrastrados durante el lavado de unidades e instalaciones.

En el caso del efluente cloacal, los valores de DQO y DBO resultan de la presencia de materia orgánica procedente de descargas cloacales, duchas, aguas de cocción y detergentes biodegradables.

Uno de los primeros parámetros a analizar es el índice de biodegradabilidad, que indica la eficacia potencial de la degradación biológica en el tratamiento de efluentes. Este índice, definido por la relación DBO/DQO, clasifica a un efluente como fácilmente biodegradable si el valor es igual o supera 0,5 y como no biodegradable si es inferior a 0,2 (Sainz Sastre, 2005).

Para el efluente industrial, un índice de DBO/DQO de 0,4 lo sitúa en el límite de la biodegradabilidad. Esto sugiere que, para implementar un tratamiento biológico, es necesario aplicar procesos de pretratamiento y tratamiento primario específicos que reduzcan la concentración de componentes tóxicos e inhibitorios y aumenten la biodegradabilidad del efluente. En contraste, el efluente domiciliario presenta un índice de 0,5, lo que lo clasifica como biodegradable y evita la necesidad de un tratamiento previo extenso.

3.7. Marco Normativo

Dado que el proyecto se sitúa en Zárate, Provincia de Buenos Aires, la normativa vigente que regula el vertido aplicable es la Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA). Sabiendo que los efluentes tratados tendrán como destino final volcarse en el Río



Paraná de las Palmas, se detallan en la tabla 3 los límites permitidos de descarga a cuerpos de agua superficial establecidos en dicha resolución para los diferentes parámetros de la caracterización fisicoquímica.

Tabla 3. Límites de descarga a cuerpo de agua superficial para los parámetros fisicoquímicos del efluente industrial. Fuente: Resolución 336/03 (ADA).

Parámetro	Unidad	Límite para descarga a cuerpo de agua superficial
Temperatura	°C	≤45
pH	upH	6,5 - 10
Sólidos sedimentables 10 min.	ml/l	Ausente
Sólidos sedimentables 2 horas	ml/l	≤1,0
SSEE	mg/l	≤50
Coliformes fecales	NMP/100 ml	≤2000
DBO	mg/l	≤50
DQO	mg/l	≤250
Nitrógeno total	mg/l	≤35
Nitrógeno amoniacal	mg/l	≤25
Fósforo total	mg/l	≤1,0
Sólidos suspendidos totales	mg/l	NE
(NE): No especifica.		

Al comparar las tablas 1, 2 y 3, se puede observar que los parámetros fisicoquímicos del análisis del efluente industrial y cloacal que superan los valores permitidos por la Resolución 336/03 son DQO, DBO₅, SSEE, SS10', nitrógeno total, fósforo total y coliformes totales. Por lo tanto, uno de los objetivos del diseño de la planta de tratamiento de efluentes y del recupero de agua, será asegurar que dichos parámetros cumplan con lo establecido por la normativa aplicable, además de reducir los niveles de los parámetros no especificados en la Resolución 336/03, como es el caso de los sólidos suspendidos totales. Como medida de precaución, el diseño se realizará considerando un límite de vertido que sea al menos un 20% inferior al máximo permitido por la Resolución 336/03 (ADA).



La reutilización de efluentes industriales previamente tratados se ha convertido en una estrategia para enfrentar la escasez hídrica y reducir el impacto ambiental de las descargas. Entre los usos posibles, la limpieza de superficies industriales y de pisos en general constituye una aplicación no potable de bajo riesgo, pero que requiere cumplir con ciertos estándares de calidad para proteger la salud humana y el ambiente. Se considera importante analizar los parámetros establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto a la calidad del agua para usos no potables, enfocándose en su aplicación para limpieza de pisos.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos es una entidad federal responsable de desarrollar y aplicar políticas que protejan la salud humana y el medio ambiente. En relación con la reutilización del agua, la EPA no establece regulaciones obligatorias, sino que emite guías técnicas y recomendaciones que sirven como referencia para estados, municipios, y organismos internacionales.

La EPA clasifica los usos del agua reciclada en función del riesgo sanitario asociado y la exposición humana potencial, dividiéndolos principalmente en:

- Usos no potables con baja exposición humana: incluye riego de áreas no recreativas, limpieza de calles y pisos industriales, enfriamiento cerrado.
- Usos no potables con exposición humana moderada: incluye riego de parques y campos deportivos, sistemas de inodoros, lavado de vehículos.
- Usos con alta exposición: apunta a riego de cultivos comestibles o uso recreativo con contacto.

Para cada uno, se establecen límites microbiológicos, fisicoquímicos y operativos. Siendo la propuesta la reutilización de agua trata para la limpieza de pisos industriales, la EPA recomienda el cumplimiento de los siguientes parámetros, que aseguran una calidad microbiológica adecuada para prevenir infecciones o riesgos por aerosoles o contacto indirecto:

Tabla 4. Límites propuestos para la reutilización de agua no potable de bajo riesgo. Fuente: EPA/625/R-04/108.

Parámetro	Límite Propuesto
Coliformes fecales	≤ 2,2 NMP/100 mL



DBO ₅	≤ 10 mg/L
SST	≤ 10 mg/L
Turbidez	≤ 2 NTU

La Organización Mundial de la Salud ha desarrollado un marco integral para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises, publicado en una serie de documentos técnicos llamado “Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater” (OMS, 2006). A diferencia de la EPA, la OMS no impone límites fijos para todos los contextos, sino que propone un enfoque flexible basado en la evaluación del riesgo sanitario.

El sistema de la OMS se basa en la aplicación del Marco de Evaluación y Gestión del Riesgo Sanitario (“Sanitation Safety Planning, SSP”). Este método identifica los peligros potenciales a la salud humana y evalúa la probabilidad y severidad del riesgo en función del uso del agua, proponiendo un plan de control que incluya tratamiento adecuado del agua, controles operacionales, prácticas de higiene y educación del personal, y un monitoreo de parámetros clave. Este marco brinda una combinación de barreras múltiples que en conjunto aseguran una exposición segura.

De esta forma, la OMS propone distintas categorías de usos según el nivel de exposición humana:

- El riego de cultivos comestibles crudos posee un nivel de exposición alto.
- El riego de áreas verdes sin acceso público posee un nivel de exposición bajo.
- La limpieza de pisos en industrias y comercios posee un nivel de exposición bajo, moderado.
- El uso recreativo con contacto directo posee un nivel de exposición alto.

Para usos con bajo riesgo como el lavado de superficies industriales, la OMS propone límites en algunos parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, como se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de calidad propuestos para una reutilización del agua en función del nivel de exposición. Fuente: OMS.

Parámetro	Límite Propuesto
-----------	------------------



E. coli	≤ 1.000 UFC/100 mL
DBO ₅	≤ 20 mg/L
SST	≤ 30 mg/L
Turbidez	No especifica, pero ≤ 10 NTU es recomendable

Una de las características más importantes del modelo de la OMS es el concepto de “barreras múltiples”, que busca reducir el riesgo en diferentes puntos del sistema. Algunas de sus recomendaciones son:

1. Tratamiento del agua: reducción de sólidos y microorganismos.
2. Diseño del entorno (pisos con buen drenaje para evitar acumulación de agua).
3. Equipos de protección personal (EPP)
4. Capacitación del personal sobre la higiene.
5. Monitoreo periódico de indicadores como E. coli y turbidez.

Este sistema permite usar aguas residuales tratadas sin necesidad de alcanzar la potabilidad, siempre que las barreras sean efectivas y controladas.

Por último, cabe mencionar que el desarrollo del proyecto se enmarca dentro del contexto legal ambiental que abarca leyes supranacionales, nacionales, provinciales y ordenanzas municipales del partido de Zárate (Anexo 1 - Tabla 2).

La normativa supranacional abarca convenios y acuerdos internacionales a los que la República Argentina ha adherido y se ha comprometido a cumplir. Considerar estos marcos legales es fundamental al desarrollar un proyecto, ya que ofrecen una guía para establecer políticas de acción y definir la ejecución de diversas actividades.

La legislación nacional abarca los artículos pertinentes de la Constitución Nacional y las leyes nacionales que la Provincia de Buenos Aires debe aplicar en materia de protección ambiental y gestión de todo tipo de residuos. La legislación provincial abarca las autoridades, leyes y resoluciones sancionadas por la Provincia de Buenos Aires que deben cumplirse para iniciar el proyecto. Asimismo, las normativas municipales son fundamentales para asegurar que el proyecto se desarrolle dentro del marco legal y regulatorio correspondiente.

La integración de estas legislaciones garantiza un cumplimiento integral y refuerza la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.



4. Capítulo 4: Memoria descriptiva

En esta sección se detalla el objetivo de cada unidad en cada etapa del tratamiento, sus condiciones y sus dimensiones significativas. Basado en la caracterización del efluente presentada en el capítulo anterior y la revisión bibliográfica, se proponen tres alternativas para el tratamiento de los efluentes líquidos de la industria del vidrio automotriz, las cuales se diferencian únicamente en la etapa del tratamiento secundario.

Es importante mencionar que también se implementará el tratamiento de los efluentes cloacales generados por el uso de sanitarios, duchas y del comedor. Por lo tanto, la etapa de pretratamiento se diseñará de manera diferenciada para las dos corrientes a tratar, con el propósito de aprovechar los microorganismos presentes como inóculo. Ambas corrientes se unirán en un ecualizador secundario. Los diagramas correspondientes a cada alternativa propuesta se pueden observar en las figuras 10, 11 y 12.

4.1. Pretratamiento

El pretratamiento es la etapa inicial en una planta de tratamiento y consiste en procesos físicos destinados a acondicionar el efluente antes de su tratamiento. Su objetivo principal es eliminar sólidos gruesos y finos para evitar que el material ingrese al sistema de tratamiento, lo cual podría dañar equipos, obstruir tuberías y afectar la operación de las siguientes unidades. La eficiencia de remoción de esta unidad es del 5% para los Sólidos Suspendidos Totales (SST), mientras que para los demás parámetros estudiados es prácticamente insignificante (Metcalf & Eddy, 2003).

4.1.1. Rejas

Se desarrolla el diseño de un sistema de rejas para eliminar los sólidos presentes en el efluente cloacal e industrial. Se instalarán dos sistemas idénticos de rejas en paralelo para asegurar el tratamiento continuo del efluente, incluso durante períodos de mantenimiento o en caso de fallas en uno de los sistemas. Esto garantiza la continuidad del tratamiento antes de que el efluente pase a las unidades de procesamiento posteriores.

En función de los cálculos, se decide instalar las rejas automáticas del proveedor BioTanks modelo RLC ^[34], las cuales se fabrican a medida, tanto para desbaste de gruesos como para finos. Los residuos retenidos son extraídos en la parte superior del equipo a través de barredores automáticos sujetos a dos cadenas longitudinales laterales. Estos



residuos son descartados como especiales en bolsas y acopiados en la Jaula de Residuos Especiales, hasta su retiro, tratamiento y disposición final según normativa.

4.1.1.1. Efluente industrial

Gran parte del efluente industrial proviene del lavado y acondicionamiento de los equipos y piezas de vidrio producidas. Esta agua residual es recolectada por canaletas ubicadas en el piso del área de producción y luego transportada mediante cañerías hasta la planta de tratamiento. Como resultado, el agua residual puede arrastrar consigo diversos sólidos gruesos y residuos que se encuentren en el suelo. Algunos de estos pueden ser componentes de goma como separadores de vidrio (figura 6) utilizados en el transporte interno mediante carritos, y otros como componentes plásticos empleados en los procesos de valor agregado.



Figura 6. Separadores utilizados en el proceso de vidrio automotriz.

Para el dimensionamiento, se consideró el caudal máximo de efluente que podría generarse durante el proceso productivo, con el fin de cubrir las condiciones más desfavorables, siendo su valor de $0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$. Se optó por rejas finas con una separación entre barras de $0,02 \text{ m}$, conformadas por 10 barrotes y 11 espacios, instaladas en un canal de $0,3 \text{ m}$ de ancho y $2,50 \text{ m}$ de longitud total. Las rejas están inclinadas a un ángulo de 65° con respecto a la horizontal, y su limpieza es mecánica. En la parte superior de las mismas se coloca una placa perforada. Esta placa permite que los residuos rastrillados se depositen temporalmente mientras el líquido remanente se escurre a través de los orificios. El efluente ingresa por gravedad y egresa hacia el canasto del ecualizador primario por bombeo.

4.1.1.2. Efluente cloacal

Al igual que para el efluente industrial, las rejas se clasifican por ser finas, con limpieza automática y poseen una placa perforada en la parte superior. Para el diseño, se consideró el caudal máximo para cubrir las condiciones más desfavorables, siendo $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$; las rejas cuentan con una separación entre barras de $0,015 \text{ m}$, conformadas por 15



barrotes y 16 espacios, instaladas en un canal de 0,3 m de ancho y 3 m de longitud total. También, forman un ángulo de 65° con respecto a la horizontal. El efluente ingresa por gravedad y egresa hacia el canasto del ecualizador secundario por bombeo.

4.1.2. Canasto

4.1.2.1. Efluente industrial

La siguiente unidad consta de un canasto de acero inoxidable, descubierto en la parte superior, por donde se vierte el efluente y los sólidos son retenidos mientras que el efluente industrial escurre al tanque de ecualización primario. Esta elección se debe al bajo caudal que permite su implementación y la necesidad de retener sólidos muy finos como se observa en la figura 7. La limpieza se realiza de forma manual con un rastrillo ^[12].



Figura 7. Descartes del proceso de vidrio automotriz.

La canasta será construída por el personal de herrería con un largo y ancho de 0,4 m y un alto de 0,5 m, conformando un volumen de 0,08 m³. El material seleccionado es chapa perforada de acero inoxidable con una luz de paso de 2 mm y un espesor de 0,9 mm, modelo R/2/20 de la marca Hierros Torrent SA ^[21]. El modelo a seguir es el que se observa en la figura 8. Este canasto se encuentra en la parte superior del ecualizador primario reteniendo los sólidos finos que ingresan a la unidad y se debe realizar una limpieza periódica con un rastrillo, descartando los residuos como especiales. El efluente ingresa por bombeo y egresa hacia el ecualizador primario y secundario por gravedad.

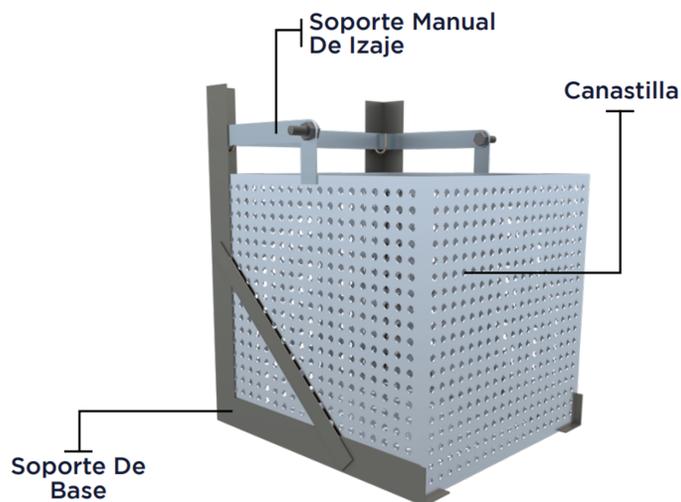


Figura 8. Tamiz en forma de canasto para la retención de sólidos finos. Fuente: SYNERTECH Water Resourcer.

4.1.2.2. Efluente cloacal

Para el efluente cloacal se opta por un canasto similar al seleccionado para el efluente industrial. El canasto tiene una luz de paso de 2 mm, con un espesor de 9 mm y un volumen de 0,08 m³. Este se ubica en la parte superior del equalizador secundario donde se une con la corriente industrial. Este tamiz se debe limpiar periódicamente con un rastrillo, depositando los sólidos recogidos como residuo especial.

4.1.3. Equalizador

A fin de estabilizar los parámetros de pH, carga y caudal, se coloca una cámara de equalización. El efluente industrial con un caudal medio de 5 m³/h pasa por el equalizador primario, el cual posee una geometría cilíndrica con un volumen de 162 m³, con una altura de 4,5 m más la altura del canasto de 0,5 m, se obtiene una altura total de 5 m, un diámetro de 6 m y un área superficial de 36 m². Se instalan 20 difusores de burbuja gruesa del proveedor Repicky, modelo CB-300, además de dos sopladores que trabajan en alternancia del mismo proveedor, modelo R200.

El efluente cloacal se combina con el efluente industrial en el equalizador secundario, ya que no pasa por un tratamiento primario. Esto se debe a que su función principal es actuar como inóculo para el proceso de tratamiento secundario. A esta unidad ingresa un caudal medio de 5,3 m³/h y posee una geometría cilíndrica con volumen de 36 m³, un diámetro de 2 m, una altura total de 3 m con el canasto y un área superficial de 12 m². Se instalan 12 difusores de burbuja fina del proveedor Repicky, modelo RG-300,



además de dos sopladores de aire que trabajan en alternancia del mismo proveedor, modelo R100. Para ambos equalizadores, el efluente ingresa por gravedad desde el canasto y egresa por bombeo.

4.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como objetivo reducir la concentración de hidrocarburos, remover sólidos en suspensión, sedimentables y coloidales, y aumentar la biodegradabilidad del efluente industrial, a través de procesos físicos y químicos. Este tratamiento actúa como una fase de preparación para el tratamiento secundario, minimizando posibles efectos tóxicos. Su enfoque principal es la clarificación, mediante coagulación, floculación y sedimentación. El porcentaje de remoción ronda alrededor del 90% para aceites y grasas (Bach, 2021), entre un 80 y 90% para sólidos suspendidos totales, y entre 30 y 70% para demanda química de oxígeno (Metcalf & Eddy, 2003).

Es importante aclarar que el efluente cloacal no recibe un tratamiento primario, ya que la etapa de pretratamiento se diseña de manera diferenciada para las dos corrientes a tratar, con el propósito de beneficiarse de los microorganismos presentes como inóculo. En el equalizador secundario se unifican las corrientes tratadas, cloacal e industrial.

4.2.1. Coagulación y floculación

El caudal que ingresa a esta unidad viene de la cámara de equalización primaria, con un flujo constante y homogéneo de $4,1 \text{ m}^3/\text{h}$, y una concentración de sólidos suspendidos totales de 2260 mg/l .

La unidad consta de un coagulador estático, ya que el volumen calculado para un tanque de coagulación es bajo. Considerando el caudal de ingreso, el modelo recomendado por el proveedor Grec, cuenta con un mezclador con diámetro externo de 130 mm , un diámetro interno de 74 mm , $0,006 \text{ m}^3$ de volumen y una longitud total de $1,4 \text{ m}$, lo que proporciona un tiempo de permanencia de 5 segundos.

Luego del coagulador estático, el caudal ingresa a la cámara de floculación de simetría cilíndrica, con un volumen de 2 m^3 , $1,4 \text{ m}$ de diámetro, $1,7 \text{ m}$ de altura incluyendo un margen de seguridad del 20%, y un área superficial de $1,2 \text{ m}^2$. La cámara cuenta con deflectores de $1,7 \text{ m}$ de alto y $0,11 \text{ m}$ de ancho. El tiempo de retención en esta unidad es de 30 minutos.



La turbina seleccionada genera un flujo axial, con un diámetro de 0,5 m y una distancia desde la base de 0,5 m. Posee cuatro paletas de 0,06 m de ancho y 0,11 m de largo. La potencia disipada es de 1,6 W, y la velocidad de rotación es de 0,47 revoluciones por segundo.

El coagulante y floculante seleccionados para este efluente son el sulfato de aluminio y el ARIFLOC C606, respectivamente (Bach, 2021). Aunque la elección se fundamenta en referencias bibliográficas, se recomienda realizar ensayos de laboratorio tipo Jar-Test para optimizar los resultados.

El efluente ingresa por bombeo hacia el coagulador estático y egresa por gravedad hacia el sedimentador primario.

4.2.2. Sedimentador primario

El caudal del efluente industrial ingresa por una tubería central al sedimentador y se distribuye de forma radial, por medio de unos orificios que cumplen la función de evitar las altas velocidades que puedan romper los flóculos formados en la unidad anterior o dispersar los lodos, disipando la energía. La unidad tiene una estructura cilíndrica con una altura total de 3,8 m, un volumen de 11,3 m³, un diámetro de 2 m y un área superficial de 3 m², siendo el tiempo de permanencia del efluente 2 horas.

La tolva posee una geometría de cono truncado invertido, para el cual se eligió un ángulo externo de 60°. El diámetro mayor coincide con el del tanque del sedimentador y el diámetro de salida de los lodos es de 0,3 m. Debido a que el diámetro es inferior a 5 m, no se instalan barredores (Sainz Sastre, 2005).

Para la zona de entrada se elige una alimentación central, donde el efluente se distribuye en 40 orificios de 10 filas y 4 columnas, y cuenta con una campana con función de disipar la energía del efluente que ingresa, de diámetro de 0,7 m y altura de 1,6 m.

Para la estructura de salida, se eligen vertederos del tipo Thompson en canaleta con el fin de asegurar una salida de flujo óptima e impedir la resuspensión de sólidos. Cuenta con un total de 8 vertederos, de forma de triángulo isósceles de 90°. La canaleta tiene un área de 0,06 m², con ancho de 0,3 m y una altura de pared interna de 0,2 m.

El efluente ingresa por gravedad y egresa por gravedad hacia el equalizador secundario.



4.3. Tratamiento secundario

Para el tratamiento secundario se desarrollan tres alternativas, denominadas A, B y C. La Alternativa A consiste de un sistema de lodos activos con biomasa suspendida, mientras que la Alternativa B emplea un lecho percolador con biomasa adherida; ambas finalizan con un sedimentador secundario para la decantación de lodos. Por otro lado, la Alternativa C emplea un biorreactor de membranas (MBR) de biomasa suspendida y un sistema de separación de lodos integrado. Los diagramas correspondientes a cada alternativa se pueden observar en las figuras 10, 11 y 12.

La eliminación de la DBO carbonácea disuelta y en partículas, así como la estabilización de la materia orgánica presente en aguas residuales, se logra biológicamente mediante el uso de diversos microorganismos. Estos oxidan la materia orgánica transformándola en productos simples y en biomasa adicional. El efluente cloacal, tras su correspondiente pretratamiento, ingresa a la unidad de tratamiento secundario sin pasar por un tratamiento primario, ya que es utilizado como inóculo.

Para determinar si el efluente es biodegradable, es fundamental conocer la relación entre la DBO y la DQO. Mientras que la DQO indica la oxidación de toda la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos, la DBO se enfoca únicamente en lo biodegradable. Por lo tanto, la relación entre ambos parámetros será siempre menor a uno.

La relación DBO_5/DQO es un buen indicador de la biodegradabilidad de un efluente residual. Los valores inferiores a 0,2 indican, en principio, que no es posible utilizar procesos biológicos de tratamiento (Sainz Sastre, 2005). En este caso, la DBO del efluente que sale del equalizador secundario es de 445 mg/l y la DQO de 1618 mg/l, lo que nos da un indicador de 0,3. Esto indica que el tratamiento secundario biológico puede implementarse, ya que el efluente es biodegradable.

4.3.1. Alternativa A

4.3.1.1. Lodos activos

Después del equalizador secundario, el efluente se dirige a un tanque de 47 m³ de forma cilíndrica con un área de 12 m², una altura de 4 m, un diámetro de 3,9 m y un área superficial de 12 m². Este cuenta con 20 difusores sumergidos con densidad de 1,7 difusor/m². En su interior, se encuentra la biomasa suspendida denominada como lodo activo o licor mezcla, que se recicla con un caudal de 118,7 m³/d.



El caudal de oxígeno es suministrado por un soplador modelo R100 de la marca Repicky, proporcionando un caudal de aire de 103 m³/h, con una potencia de 3,1 HP y una presión de 500 mbar. Se decide instalar un segundo soplador en alternancia como respaldo para garantizar la continuidad del tratamiento en caso de fallas mecánicas o eléctricas, siendo un total de 2 sopladores. El efluente ingresa por bombeo y egresa por bombeo hacia el sedimentador secundario.

4.3.1.2. Sedimentador secundario

Luego, el efluente con caudal de entrada de 241,1 m³/d, es separado de la biomasa mediante un clarificador denominado sedimentador secundario, con un volumen total de 47 m³, una altura total de 5,5 m, un diámetro de 3,5 m y un área superficial de 9,6 m². Debido a que el diámetro es inferior a 5 m, no se instalan barredores (Sainz Sastre, 2005). El sistema de recirculación permite alcanzar un tiempo de permanencia de los lodos de 3,4 horas y la carga de sólidos es de 5 kg SST/m²h. La tolva posee un diámetro menor de 0,6 m, una altura de 2 m y un volumen de 11 m³.

Para la zona de entrada, se opta por una alimentación central, donde se incluye una campana con función de disipar la energía del efluente que ingresa, con un diámetro de 1,1 m y una altura de 2,1 m.

La zona de salida está diseñada para un caudal de salida de 0,0001 m³/s, utilizando 20 vertederos del tipo Thompson en canaleta, los cuales aseguran una óptima salida de flujo y previenen la resuspensión de los sólidos. La canaleta superior rodea el perímetro del sedimentador y presenta aberturas triangulares consecutivas con ángulo de 90°. El área de la canaleta es de 0,1 m², con un ancho de 0,3 m y una altura de pared interna de 0,5 m. El efluente ingresa por bombeo y egresa por gravedad hacia el clonador.

El porcentaje de remoción supera el 90% de eficiencia para sólidos suspendidos totales y para demanda biológica de oxígeno (Metcalf & Eddy, 2003).

4.3.2. Alternativa B

4.3.2.1. Lecho percolador

El lecho percolador es un sistema de tratamiento compuesto por un lecho fijo donde la biomasa se adhiere. La unidad tiene una estructura cilíndrica con un diámetro de 2,5 m y una altura de 4 m, conformando un volumen de 20 m³ y un área superficial de 4,9 m².



En la parte superior del filtro se encuentra un distribuidor rotativo de 4 brazos, cuya función es repartir uniformemente el efluente sobre el lecho, permitiendo su paso a través del material fijo. Este material está formado por un relleno plástico a granel de la marca ECOPLAST, con una superficie específica de $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$. El distribuidor opera a una velocidad de 3,2 rpm.

El efluente tratado, junto con los sólidos biológicos separados del relleno, se recoge en la parte inferior del filtro.

La capa de microorganismos adheridos al material de relleno degrada la materia orgánica presente en el efluente a medida que este fluye a través del filtro, alcanzando una eficiencia de remoción del 83% de DBO_5 que ingresa a la unidad, según la ficha técnica del relleno seleccionado. Con el tiempo, esta capa aumenta su grosor, lo que puede generar una obstrucción física en el lecho fijo. Para evitarlo, se ha establecido una velocidad de giro de lavado del distribuidor de 0,5 rpm. Esto provoca que los microorganismos en la superficie de la capa pierdan adherencia y sean arrastrados con el efluente.

La ventilación de la unidad es natural, ya que la altura del relleno no supera los 6 m, según lo informa el proveedor. El sistema cuenta con 5 ventanas de 1 m de largo por 0,1 m de alto, lo que da como resultado una altura total de 4,1 m. El efluente ingresa por bombeo y egresa por bombeo hacia el sedimentador secundario.

4.3.2.2. Sedimentador secundario

El efluente con caudal de entrada de $244,8 \text{ m}^3/\text{d}$, se separa de la biomasa por medio de un clarificador de 28 m^3 , una altura total de 5,1 m, un diámetro de 3 m y un área superficial de $7,1 \text{ m}^2$. El sistema de recirculación permite alcanzar un tiempo de permanencia de los lodos de 2,4 horas y la carga de sólidos es de $4 \text{ kg SST}/\text{m}^2\text{h}$. La tolva posee un diámetro menor de 0,6 m, una altura de 1,6 m y un volumen de $3,5 \text{ m}^3$.

Para la zona de entrada, se seleccionó una alimentación central, la cual cuenta con una campana diseñada para disipar la energía del efluente que ingresa, con un diámetro de 0,9 m y una altura de 2 m.

La zona de salida incluye 21 vertederos del tipo Thompson, optimizados para asegurar una salida eficiente y evitar la resuspensión de sólidos. Esta canaleta superior recorre el perímetro del sedimentador con aberturas triangulares consecutivas de 90° . El área de la canaleta es de $0,1 \text{ m}^2$, con un ancho de 0,3 m y una altura de pared interna de 0,5 m. El efluente ingresa por bombeo y egresa por gravedad hacia el clorinador.



El porcentaje de remoción alcanza un 97% de eficiencia para sólidos suspendidos totales (Metcalf & Eddy, 2003).

4.3.3. Alternativa C

4.3.3.1. Reactor MBR

La unidad de tratamiento MBR provista por Aeration Argentina combina el proceso de lodos activos con un sistema de membrana de microfiltración, lo que mejora significativamente la calidad del efluente tratado. Esta tecnología permite alcanzar una concentración elevada de microorganismos en el reactor, optimizando la biodegradación de los contaminantes. Los parámetros operativos incluyen un flujo superior a $0,3 \text{ m}^3/\text{dm}^2$, un pH de funcionamiento entre 1 y 11, y membranas con un tamaño de poro de $0,2 \text{ }\mu\text{m}$, lo que asegura una alta eficiencia en la separación de sólidos y desinfección, según la información brindada por un asesor de Aeration Argentina. Es decir, al eliminar bacterias y virus del efluente, el sistema MBR cumple la función de tratamiento terciario sin necesidad de una unidad extra de desinfección. Sin embargo, se aplicó un modelo determinístico de remoción de patógenos basado en Log Removal Value (LRV), los cuales se definen y determinan experimentalmente en laboratorio e indican cuántas veces se reduce la concentración de un contaminante. Se determinó que el reactor reduce la concentración de coliformes fecales desde $10^6 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ hasta aproximadamente $10 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$, lo que se encuentra dentro del rango de calidad de un tratamiento terciario. Esta reducción se debe a la combinación de la acción biológica del reactor con la separación física de las membranas, que retienen microorganismos patógenos con una eficiencia similar a la de los procesos convencionales de desinfección.

El diseño de la unidad está basado en una concentración de microorganismos de 10.000 mg/l , con un tiempo de retención hidráulico de 5 horas y un tiempo de retención celular de 15 días. El tanque principal tiene forma rectangular acorde a las dimensiones de las membranas, un volumen de 25 m^3 , 6 m^2 de área superficial, 4 m de altura, 3 m de largo y 2,1 m de ancho. Este sistema permite mantener un equilibrio adecuado entre la descomposición de materia orgánica y la eficiencia del tratamiento, alcanzando el 98% de eficiencia de remoción para los sólidos suspendidos totales y la materia orgánica.

El sistema MBR utiliza membranas de fluoruro de polivinilideno (PVDF), que son químicamente inertes y altamente resistentes. La unidad requiere limpiezas periódicas para evitar el ensuciamiento de las mismas, mediante retrolavado y limpiezas químicas con agentes como hipoclorito de sodio y ácido cítrico. Además, al eliminar bacterias y virus del



efluente, se evita la necesidad de procesos adicionales de desinfección, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos, según Aeration Argentina.

El efluente ingresa y egresa por bombeo hacia el sistema de ultrafiltración.

4.4. Tratamiento terciario

El objetivo de esta última etapa de tratamiento es la eliminación de patógenos mediante un proceso de desinfección para evitar la propagación de las enfermedades hídricas.

4.4.1. Cloración

Para la desinfección se utiliza cloro debido a su alto poder residual y bajo costo. En este caso, se dosifica hipoclorito sódico líquido, con una dosis diaria de 0,16 kg/d para la Alternativa A, y 0,15 kg/d para la Alternativa B. La Alternativa C no presenta una unidad adicional de desinfección, dado que no lo requiere ^[31].

La unidad de desinfección consta de una cámara de contacto laberíntica de 2,5 m³ para la Alternativa A y 2,3 para la Alternativa B, con un laberinto compuesto por 6 tabiques que forman canales de 0,1 m de ancho, con un tiempo de contacto de 30 minutos. El hipoclorito sódico se introduce en el punto de entrada del efluente mediante una bomba dosificadora de cloro modelo F-MA 1.5/12 de la marca WAITEC, que puede suministrar hasta 1,5 l/h con una potencia de 30 W ^[33]. Para la alternativa A y B, el efluente ingresa por gravedad y egresa por bombeo hacia el sistema de ultrafiltración.

4.5. Tratamiento para reuso de agua en limpieza

4.5.1. Ultrafiltración

Aparte del tratamiento del efluente industrial y cloacal generado en la industria de vidrio de seguridad automotriz, se propone un tratamiento adicional con el objetivo de reducir el consumo de agua, un recurso limitado, y reutilizarla en el proceso de limpieza de pisos en toda la planta. La ultrafiltración es un proceso impulsado por presión que permite la eliminación de materia en suspensión, partículas, macromoléculas, material coloidal y microorganismos. Las presiones de operación típicas oscilan entre 0,5 y 6 bar, y la membrana utilizada tiene un tamaño de corte nominal de 0,03 μm . Esto permite eliminar partículas del polvo de vidrio con tamaño entre 30 hasta 0,1 μm ^[18], logrando un filtrado de



mayor calidad para ser reutilizado. El efluente ingresa por bombeo y egresa por bombeo hacia la cámara de muestreo.

Considerando las características del efluente, se seleccionó un equipo de ultrafiltración de la empresa Pure Aqua INC., modelo UF-40K-4. Este sistema opera con un caudal máximo de 153 m³/d, lo que permite cubrir adecuadamente el caudal de diseño de 122 m³/d. Los módulos de ultrafiltración, fabricados en PVC según el fabricante, son resistentes a un amplio rango de pH y a altas concentraciones de oxidantes, como peróxidos e hipocloritos, lo que facilita la eliminación de suciedad y bacterias durante los ciclos de lavado ^[24]. La eficiencia de remoción para una membrana de poro 0,03 µm consta de 99% para sólidos suspendidos totales, 99% para bacterias como E. coli y virus, y 3 a 6 log para coliformes totales. Es importante aclarar que la UF no remueve materia disuelta como sales, nutrientes o moléculas orgánicas como DBO disuelto. Por esto, se recomienda combinar esta unidad con tratamientos biológicos previos (Asano, T. et al., 2007; Pérez, M. et al., 2019).

Para la limpieza de las calles internas de la planta, se consumen 4.000 litros de agua en el turno mañana y tarde, lo que equivale a 8.000 litros diarios, representando aproximadamente el 7,3% del consumo de agua. La limpieza se realiza de manera automática, con un operador a bordo sobre la máquina de limpieza que se muestra en la figura 9. Al final del tratamiento de efluentes, se habilita un espacio para el llenado del tanque de hombre a bordo para reducir el consumo de agua mediante su reutilización.



Figura 9. Maquinaria hombre a bordo utilizada por el personal de limpieza. Fuente: Catanese.



4.6. Cámara de muestreo y vertedero

De acuerdo con la Resolución 607/2012 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, los establecimientos industriales y/o especiales incluidos en el artículo 2° del Decreto N° 674/89 y sus modificatorias, deben construir una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC), destinada a facilitar las funciones de fiscalización de la autoridad competente. Estas funciones se ajustan a las especificaciones detalladas en los documentos de las figuras 1, 2 y 3 del Anexo 2. La ubicación debe ser al final de la planta de tratamiento, con acceso externo, seguro y libre.

La cámara toma muestra tiene un ancho de 0,8 m, un largo de 1,1 m y una altura de 0,9 m. Además, cuenta con una regla diseñada acorde al caudal de la industria, para la medición rápida y control de caudales. El efluente ingresa por bombeo y egresa por gravedad hacia la cámara del parque industrial que recolecta el desagüe industrial, pluvial y cloacal que se encuentra frente a la fracción.

4.7. Tratamiento de lodos

Los lodos generados en los distintos procesos de la planta de tratamiento presentan una baja concentración de sólidos en suspensión, por lo que es necesario concentrarlos antes de someterlos a cualquier tratamiento posterior con el fin de reducir su volumen y facilitar su manejo. Dado que las cantidades de lodo suelen ser moderadas, el método más común de espesamiento es por gravedad. Este proceso se lleva a cabo en tanques similares a los decantadores, obteniéndose en el fondo un lodo espesado. A diferencia de los decantadores, el espesador es cilíndrico y de tracción central con un volumen total de 95,6 m³, un área superficial de 18 m², un diámetro de 4,9 m y una altura total de 6 m. Además, cuenta con un barredor de lodos. Los lodos ingresan al espesador por bombeo y egresan por bombeo hacia el tanque de estabilización con cal.

Una parte significativa del lodo está compuesta por materia orgánica, lo que requiere su estabilización antes de su disposición final. Este proceso consiste en la adición de cal al lodo no digerido, elevando el pH a valores entre 11 y 11,5, un rango en el que no pueden sobrevivir los microorganismos patógenos. De este modo, se evita la descomposición del lodo y se obtiene un material inerte (Sainz Sastre, 2005). El tiempo de retención antes de la deshidratación debe ser de al menos 3 horas, para asegurar una adecuada estabilización. El tanque es cilíndrico con un volumen de 28 m³, una altura de 3 m, un diámetro de 3,5 m y un área superficial de 9,5 m², diseñado para un tiempo de retención de un día y un margen



de seguridad del 20%. El lodo ingresa por bombeo y egresa por gravedad hacia el filtro prensa.

Una vez espesados y estabilizados, los lodos deben deshidratarse hasta alcanzar una concentración que permita su evacuación en fase sólida, obteniéndose los siguientes beneficios:

- Costes de transporte. A mayor sequedad del lodo, menor peso y volumen transportado, lo que reduce los costos.
- Facilidad de manejo. A mayor sequedad, es más fácil manipular el lodo y se reduce el volumen de lixiviado.
- Tratamiento. Uno de los tratamientos convencionales es la incineración controlada por fuera de la empresa, por lo que una buena deshidratación es esencial para minimizar los costos energéticos.

En el caso de la filtración a presión, la deshidratación se logra aplicando presión sobre un medio filtrante, lo que permite extraer el agua del lodo. El uso de cal, aunque aumenta la cantidad de lodo, también favorece una mayor sequedad, alcanzando niveles alrededor del 25%. Esto hace que la filtración a presión sea el método preferido en plantas industriales que tratan lodos clasificados como residuos especiales, debido al alto grado de sequedad que se puede obtener (Romero Rojas, Jairo A., 2004). Se selecciona el modelo FPA 150 del proveedor Toro, en función de la capacidad máxima de torta que permite, operando en tres ciclos diarios.

Finalmente, el lodo seco ingresa por gravedad y es almacenado en contenedores de 1 m³ proporcionados por la empresa Braunco SA, encargada del tratamiento final de los lodos clasificados como residuos especiales. Estos contenedores se almacenan en una jaula de residuos especiales hasta su retiro, cumpliendo con los decretos 806/97 y 592/00.

5. Capítulo 5: Análisis de alternativas A, B y C

En este apartado se realiza un análisis cualitativo inicial de las alternativas consideradas para el diseño de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la industria de vidrio de seguridad automotriz, incluyendo el efluente cloacal. Se evalúan los siguientes aspectos clave:

- Eficiencia teórica en la remoción de DBO
- Eliminación de nutrientes
- Consumo energético



- Requisitos de espacio
- Producción de lodos
- CAPEX (Capital Expenditures o Gastos de Capital)
- OPEX (Operational Expenditure o Gastos Operativos)

Siendo el propósito inicial de este proyecto cumplir con la normativa ambiental de vuelco, se analiza también el consumo energético, buscando minimizar el gasto de energía. Otro factor clave es el espacio requerido por cada alternativa, considerando que se cuenta con un espacio limitado destinado para la construcción de la planta de tratamiento de efluentes. Además, es esencial evaluar los costos de inversión de cada alternativa, teniendo en cuenta no solo la inversión inicial, sino también las necesidades futuras, como el tratamiento de lodos, personal a cargo, mantenimiento y consumo de productos químicos, los cuales impactan en los gastos operativos diarios de la empresa.

Como se estableció al comienzo del proyecto, se proponen tres alternativas para el diseño de esta planta de tratamiento, siendo las unidades que coinciden las siguientes: pretratamiento, tratamiento primario y gestión de lodos. La diferencia se encuentra principalmente en el tratamiento secundario y terciario, dependiendo de la alternativa seleccionada.

La alternativa A propone un sistema de lodos activos, mientras que la alternativa B propone un lecho percolador. Por otro lado, la alternativa C implica un reactor biológico con membranas (MBR), que aunque sea una tecnología más costosa, evita la necesidad de adicionar un tratamiento terciario. Para evaluar estas alternativas se realiza un análisis comparativo de los factores teóricos mencionados anteriormente (tabla 6).

Tabla 6. Análisis comparativo de las alternativas A, B y C.

Factor de criterio	Alternativa A (Lodos Activos)	Alternativa B (Lecho Percolador)	Alternativa C (Reactor MBR)
Remoción DBO (%)	97	83	98
Remoción de nutrientes	Alto	Bajo	Alto
Consumo de energía	Medio	Bajo	Alto
Espacio requerido	Medio	Medio	Bajo
Producción de lodos	Alto	Alto	Medio
CAPEX	Medio	Medio	Alto
OPEX	Alto	Alto	Medio



Se observa que las alternativas muestran un alto porcentaje de remoción de DBO, siendo la alternativa C la más efectiva. En cuanto a la eliminación de nutrientes, la alternativa B muestra una baja eficiencia, atribuida a su corto tiempo de residencia hidráulica. Además, su limitada remoción de DBO requiere acoplar una unidad adicional de tratamiento para mejorar el rendimiento, lo que incrementa tanto los costos como el espacio ocupado. Por su parte, los sistemas de lodos activos y el reactor MBR logran mejores resultados.

Por último, las figuras 10, 11 y 12 corresponden al esquema de la planta de tratamiento para cada alternativa desarrollada. Se aclara que la corriente marrón corresponde al efluente cloacal, la corriente azul al efluente industrial, la corriente verde a la unión del efluente industrial y cloacal, y la corriente violeta a los lodos.

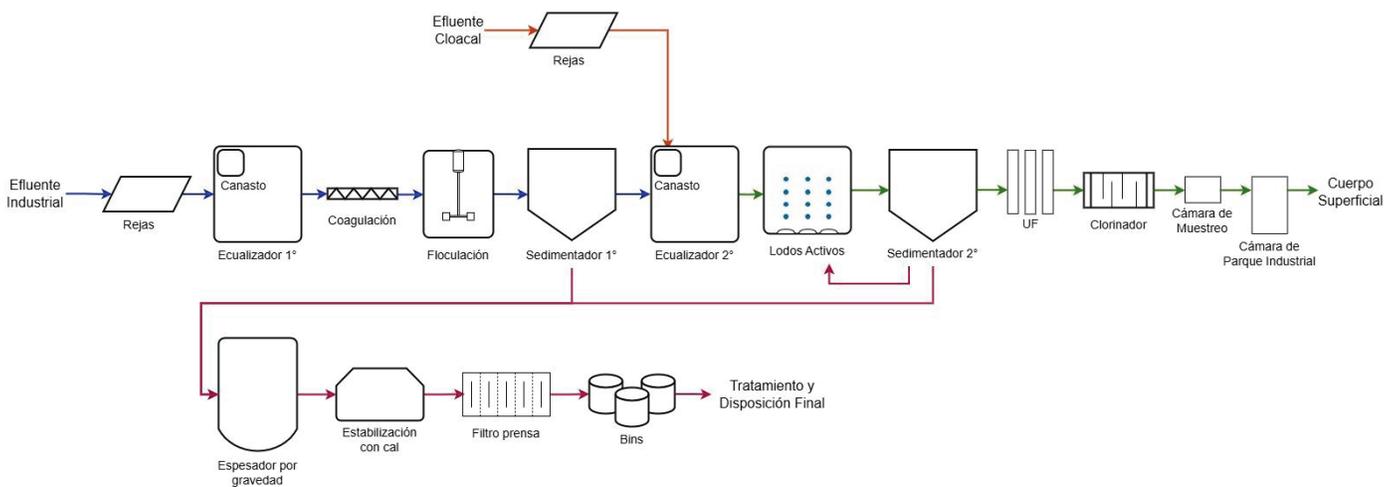


Figura 10. Esquema de Alternativa A.

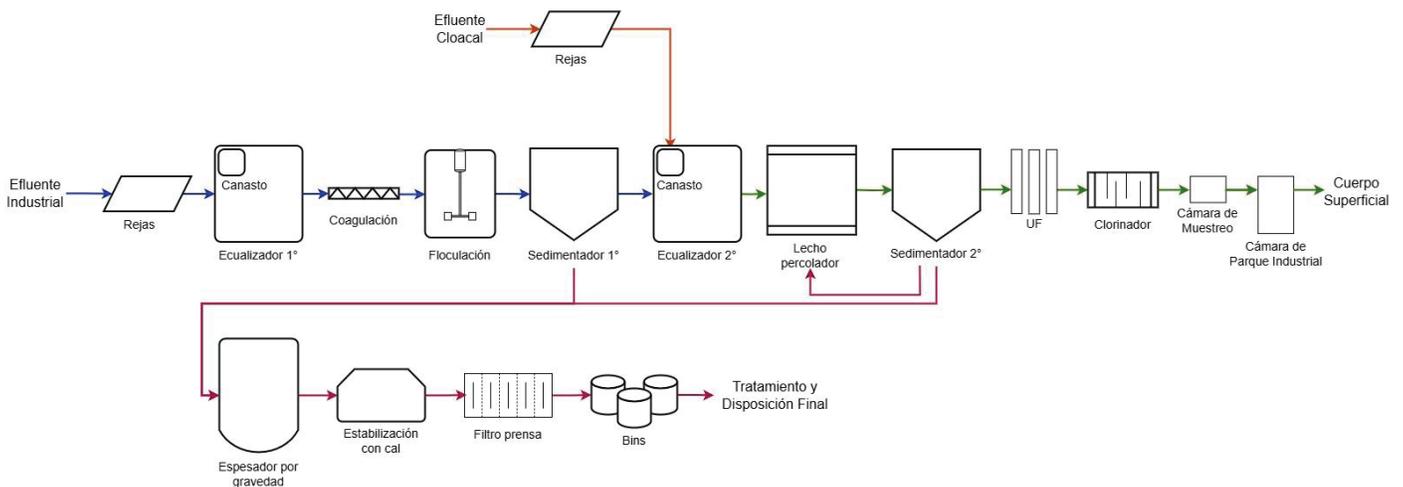


Figura 11. Esquema de planta de tratamiento de Alternativa B.

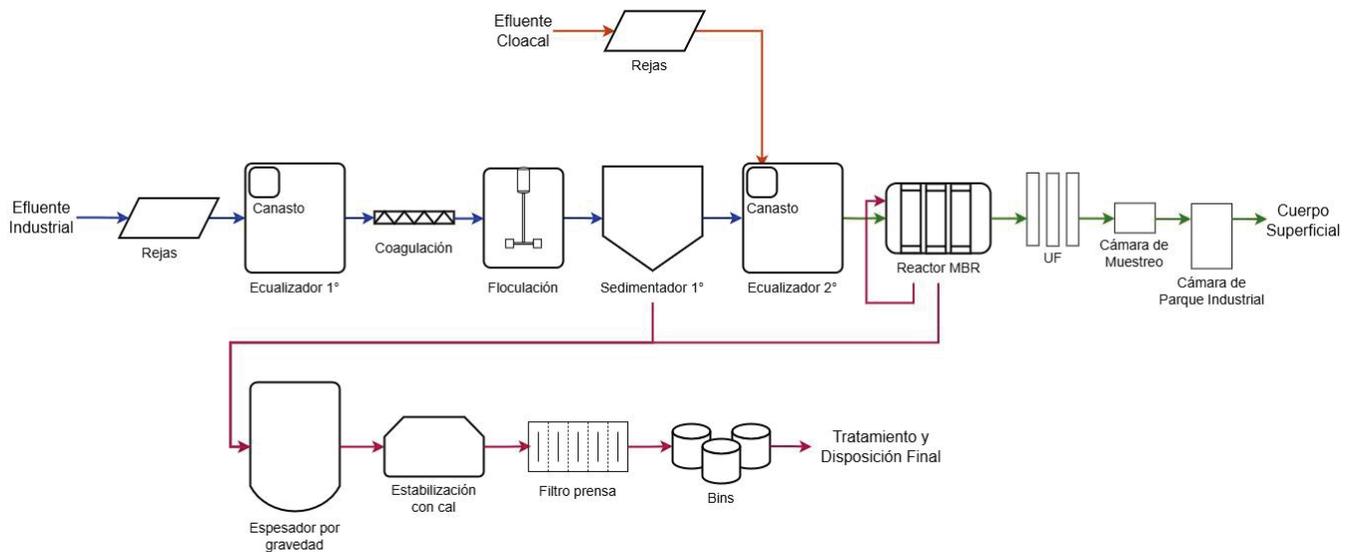


Figura 12. Esquema de planta de tratamiento de Alternativa C.

6. Capítulo 6: Memoria de cálculo

A continuación se presenta la memoria de cálculo del dimensionamiento de cada operación unitaria mencionada anteriormente, junto con las cañerías y accesorios necesarios. El objetivo de este capítulo es analizar cuantitativamente la alternativa más adecuada para cumplir con los límites de vuelco establecidos por la normativa vigente. Para cada unidad de tratamiento se desarrolla su diseño, especificando los criterios adoptados y los rangos recomendados para determinados parámetros, con el fin de lograr las condiciones de operación más eficientes.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el caudal medio industrial es de 114 m³/día, con una variación aproximada del 10%, y el caudal cloacal es de 30 m³/día. Ambos caudales corresponden a una jornada laboral de tres turnos que completan las 24 horas del día, durante seis días a la semana.

6.1. Pretratamiento

6.1.1. Rejas

En esta sección, se presenta la memoria de cálculo correspondiente a la corriente industrial, siguiendo la misma metodología aplicada para la corriente cloacal.



Como se explica en el capítulo anterior, la planta de tratamiento de efluentes líquidos cuenta con dos líneas de tratamiento: una para efluentes industriales y otra para cloacales. Cada línea está equipada con un sistema de rejillas finas con limpieza automática, diseñadas para capturar sólidos de diversos tamaños. Con el fin de garantizar la continuidad operativa durante las etapas futuras de mantenimiento, se definen dos sistemas de rejillas idénticos, de modo que uno pueda estar fuera de servicio sin interrumpir la producción.

Para el diseño del sistema de rejillas es necesario determinar la altura de pérdida de carga (h_L), para lo cual se emplea la ecuación 6.1.

$$h_L = \beta * \left(\frac{W}{b}\right)^{4/3} * h_V * \text{sen}(\theta) \quad 6.1$$

Donde β es el factor de forma de la barra, W es el espesor transversal de las barras en dirección de la corriente, b es la separación entre las barras, h_V es la altura cinética del flujo que se aproxima a la rejilla y θ es el ángulo de la rejilla con respecto a la horizontal.

Para ello, se adoptan diversos parámetros establecidos en bibliografía, los cuales se detallan a continuación. La rejilla seleccionada tiene una forma rectangular con ambas caras semicirculares, y un valor de β igual a 1,67. Se establece un ancho de barras (W) de 0,01 m, una separación entre barras (b) de 0,02 m, y un ángulo de inclinación de 65° .

Por otro lado, se debe determinar la sección del canal (S_c) mediante la ecuación 6.2, para luego, calcular la altura cinética del flujo (h_V) con la ecuación 6.3.

$$S_c = \left(\frac{Q}{v}\right) \quad 6.2$$

$$h_V = \frac{S_c}{W_c} \quad 6.3$$

Donde Q es el caudal de generación, v es la velocidad de aproximación y W_c es el ancho del canal. En la ecuación 6.2, el caudal de generación industrial se considera como $0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$, y se debe adoptar un valor para la velocidad de aproximación que al tratarse de rejillas automáticas, debería estar entre 0,6 y 1 m/s. Sin embargo, al utilizar estos valores recomendados y considerando que el ancho mínimo del canal debe ser de 0,3 m, se obtienen valores demasiado bajos para la altura cinética del flujo. Por esta razón, se elige una velocidad de aproximación menor al rango recomendado en la bibliografía, siendo 0,05 m/s. De esta manera, se obtiene una altura cinética (h_V) de 0,1 m. La baja altura del tirante de líquido está asociada a la velocidad de aproximación mínima, lo que implica una mayor



deposición de residuos antes de las rejillas y, en consecuencia, requiere de una limpieza más frecuente.

Así, al aplicar nuevamente la ecuación 6.1, se obtiene un valor de h_L igual a 0,06 m, que se encuentra dentro del rango permisible de 0,05 a 0,15 m de pérdida de carga para las condiciones operativas de caudal medio, mínimo y máximo. De este modo, la altura de salida resulta ser 0,04 m, correspondiente a la diferencia entre h_V y h_L .

Luego, se calcula la cantidad de barras que conforman el sistema de rejillas (N_{bar}) y la cantidad de espacios (N_{esp}) necesarios entre las mismas, según las ecuaciones 6.4 y 6.5 respectivamente, mediante las cuales se determina y redondea un total de 10 barras y, por ende, 11 espacios.

$$N_{bar} = \frac{W_c - b}{W + b} \quad 6.4$$

$$N_{esp} = \frac{W_c + W}{W + b} \quad 6.5$$

Una vez redondeado el N_{bar} y N_{esp} , se vuelve a calcular la separación entre barras (b) mediante la ecuación 6.6. Con este nuevo valor de b , se vuelve a calcular la pérdida de carga, mediante la ecuación 6.1, tanto para el caudal medio, máximo y mínimo. De esta forma, se verifica que la pérdida de carga se encuentra entre 0,05 y 0,15 m.

$$b = \frac{W_c - (W * N_{bar})}{N_{esp}} \quad 6.6$$

A fines de determinar la altura del canal (H_c) se emplea la ecuación 6.7, para la cual se considera una revancha (r) de 20 cm y un nivel del líquido máximo (h_{max}), el cual considera la pérdida de carga en la rejilla obstruida en un 50% y la altura cinética antes de la rejilla con el caudal máximo. Luego, con dicha altura total y considerando el ángulo de inclinación propuesto, se calcula el largo de la rejilla proyectada (L_p), el largo de la zona de aproximación (L_v) y el largo mínimo del canal (L_m), mediante las ecuaciones 6.8, 6.9 y 6.10, respectivamente. El largo de la zona de aproximación (L_v) asegura un flujo uniforme del caudal.

$$H_c = h_{max} + r \quad 6.7$$



$$L_p = \frac{H_c}{\tan(\theta)} \quad 6.8$$

$$L_v = 10 * h_{max} \quad 6.9$$

$$L_m = L_v + L_p \quad 6.10$$

Todos los parámetros de diseño y dimensiones finales de las rejas se exhiben en el Anexo 3 - Tabla 3.

Para el efluente cloacal, el sistema de rejas automáticas finas se diseña de manera similar, pero con un caudal cloacal de 0,0003 m³/s y se adopta una velocidad de aproximación reducida a 0,008 m/s, debido a los motivos previamente explicados en el cálculo anterior. En Anexo 3 - Tabla 4 se detallan los parámetros y dimensiones de diseño de las rejas mecánicas finas para el efluente cloacal.

Se instalan compuertas corredizas en las paredes del canal para bloquear el paso del efluente en la unidad durante su mantenimiento y reparación. Para la limpieza mecánica mediante un rastrillaje, esta se activa en función de la pérdida de carga diferencial a través de la pantalla o mediante un reloj temporizador. Se recomienda un ciclo de aproximadamente 15 minutos para el temporizador; no obstante, debe incorporarse un contacto de alto nivel de agua o de diferencial elevado que active la operación continua de la pantalla cuando sea necesario.

La eficiencia de remoción de esta unidad es del 5% para los Sólidos Suspendidos Totales (SST), por lo tanto, la concentración de salida de los SST es de 2260 mg/l para el efluente industrial y de 285 mg/l para el efluente cloacal.

6.1.2. Canasto y tamiz

Para el efluente industrial se construye un tamiz en forma de canasto por el personal de herrería con un largo y ancho de 0,4 m y un alto de 0,5 m, conformando un volumen de 0,08 m³. El material seleccionado es chapa perforada de acero inoxidable con una luz de paso de 2 mm y un espesor de 0,9 mm, modelo R/3/20 de la marca Hierros Torrent SA^[20]. Este canasto se ubica en la parte superior del tanque equalizador primario para optimizar espacio y costos, aprovechando que se trata de un caudal bajo.

Siguiendo la misma metodología, la corriente cloacal pasa por un canasto igual al del efluente industrial. El mismo se ubica en la parte superior del equalizador secundario, donde se une con la corriente industrial.



Ambos canastos se deben limpiar periódicamente para evitar olores con un rastrillo, clasificando los sólidos recogidos como residuos especiales. Los mismos son acopiados en bins de 1 m³ dentro de la Jaula de Residuos Especiales para luego ser retirados, tratados y depositados según normativa vigente.

6.1.3. Ecuador

Para dimensionar esta unidad, es fundamental conocer la variación del caudal en la industria. Como ya se mencionó, la planta opera de manera continua y cuenta con tres turnos de producción, cubriendo las 24 horas por día. El caudal medio de generación industrial es de 114 m³/día, durante 6 días a la semana, es decir, de lunes a sábados. Los domingos el caudal es cero, ya que no se trabaja y la producción es nula. En primer lugar, se calcula para los días productivos, y luego, se repite los cálculos para los días domingo.

En la tabla 7 del Anexo 3, se observan los valores promedio correspondientes a 6 días de producción, con caudales medios pertenecientes a intervalos de 1 hora, por lo que se tiene el volumen que ingresa al ecuador en cada periodo de tiempo. También, se observan el volumen acumulado en cada periodo, y el volumen acumulado de salida en cada periodo de tiempo. Con estos valores se grafica el volumen acumulado de ingreso y el volumen acumulado de salida del ecuador, ambos para cada periodo de tiempo. A partir del gráfico de la figura 13, se trazan las distancias máximas absolutas desde la curva del volumen acumulado de ingreso hasta la recta correspondiente al volumen acumulado de salida. Las máximas distancias corresponden a los valores absolutos de 20,9 y -12,5 m³, siendo ΔV_1 y ΔV_2 respectivamente.

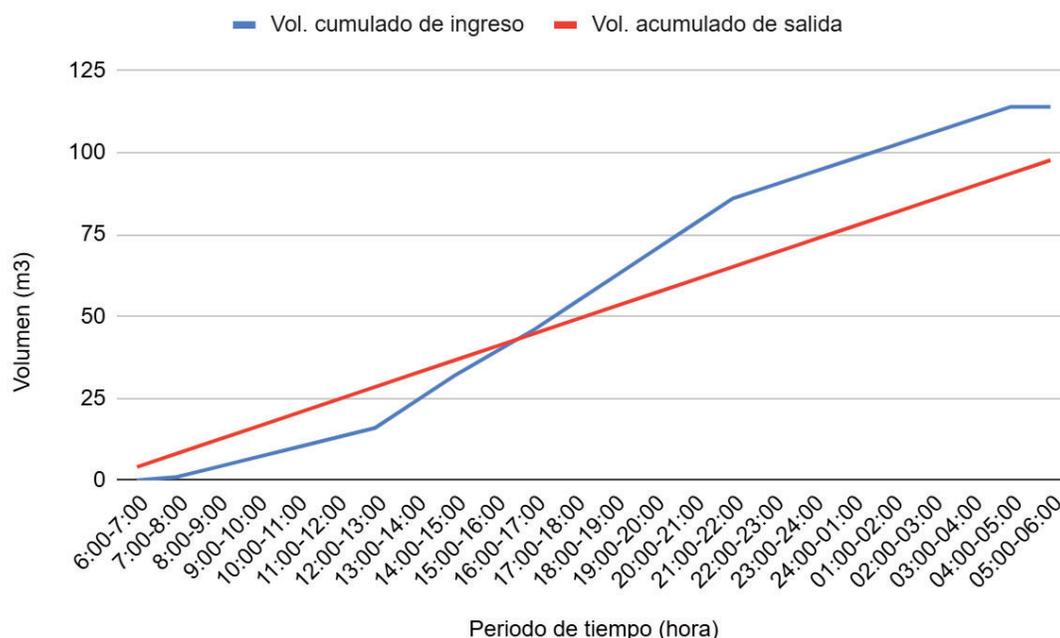


Figura 13. Gráfico del volumen acumulado de ingreso y acumulado de salida en función del tiempo.

Finalmente, se suman ΔV_1 y ΔV_2 para obtener el volumen mínimo (V_{min}) del tanque de equalización y se adopta un margen de seguridad de 20%, según la ecuación 6.11. De esta forma se obtiene un volumen de equalizador para los días laborales de 40 m^3 .

$$V_{min} = 1,2 * (\Delta V_1 + \Delta V_2) \quad 6.11$$

Por otro lado, se calcula el volumen de salida del equalizador, manteniendo un flujo constante durante cada período de tiempo, con el objetivo de asegurar un caudal uniforme. Para lograr esto, es necesario determinar el caudal de salida, el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación 6.12. El caudal de salida que se obtiene es $4,1 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$Q_{salida} = \frac{Q_{medio} * \text{días trabajados}}{7 \text{ días de la semana}} \quad 6.12$$

Para los domingos, se procede con la misma metodología de cálculo que para los días laborales, pero el caudal de ingreso para cada periodo es nulo. De este modo, se obtiene un ΔV_1 y ΔV_2 igual a $-4,1$ y $-97,7$, respectivamente. Utilizando la ecuación 6.11, se obtiene que se necesita un volumen del equalizador igual a 122 m^3 . En la tabla 7 del Anexo 3, se presentan los resultados obtenidos para el cálculo del domingo. Al sumar ambos volúmenes, se tiene un volumen total de 162 m^3 para el equalizador primario.



Luego, se verifica que el volumen obtenido para cada periodo sea soportado por el ecualizador durante una semana completa, sin vaciarse ni desbordarse. De esta forma, se simula una puesta en marcha como se observa en la tabla 7 del Anexo 3. Se registra que el valor mínimo dentro del ecualizador ocurre un lunes entre las 12:00 y 13:00 con 41,6 m³ y un valor máximo de 156,3 m³ un sábado entre las 21:00 y 22:00. Además, se verifica que al finalizar la semana, el ciclo se cierra.

Una vez verificado el volumen del ecualizador, se procede a diseñar el sistema de aireación para asegurar una mezcla adecuada dentro de la cámara y prevenir condiciones sépticas. Por esta razón, se opta por la instalación de difusores de membrana de burbuja gruesa CB-300 del proveedor Repicky (figura 4 del Anexo 3) para el ecualizador primario. Se inicia el cálculo del caudal del aire (Q_{aire}), mediante la ecuación 6.13, y se adopta como

requerimiento de aire $R_{aire} = 0,015 \frac{m^3_{aire}}{m^3_{reactor} * min}$ (Metcalf & Eddy, 2003).

$$Q_{aire} = R_{aire} * V_{ecualizador} \quad 6.13$$

De este modo, se obtiene un caudal de aire de 194,6 m³/hora. A continuación, se calcula la cantidad de difusores utilizando la ecuación 6.14, con un caudal de diseño ($Q_{diseño}$) de 10 Nm³/hora, brindado por el proveedor. El resultado es la necesidad de instalar 18 difusores de burbuja gruesa.

$$Nro. Difusores = \frac{Q_{aire}}{Q_{diseño}} \quad 6.14$$

El fabricante recomienda una densidad de difusores entre 0,5 y 3 $\frac{difusores}{m^2}$ para burbuja gruesa. Al calcular la densidad, el valor resultante queda al límite del rango recomendado. Esto indica la necesidad de agregar dos difusores adicionales, lo que brinda una densidad de 0,55 $\frac{difusores}{m^2}$, con un total de 20 difusores de burbuja gruesa. A partir de esta recomendación y el volumen del sistema, se seleccionó un ecualizador de geometría cilíndrica con un área superficial de 36 m², 6 m de diámetro y 4,5 m de altura.

Finalmente, se decidió instalar un soplador del proveedor Repicky (Anexo 3 - Figura 5), modelo R200, con una potencia de 5,8 hp, operando a 4500 rpm y proporcionando un caudal de aire de 215 m³/hora bajo una diferencia de presión de 500 mbar. Se optó por instalar dos equipos sopladores, con el fin de que funcionen en alternancia. A continuación, en Anexo 3 - Tabla 8 se detallan las principales dimensiones y parámetros del ecualizador primario y sistema de aireación.



Para la cámara de equalización secundaria, se calculó aplicando el mismo procedimiento que para el equalizador primario, pero teniendo en cuenta que los domingos el caudal de ingreso es el caudal de salida del equalizador primario; y para los días laborables se suma el caudal cloacal al caudal de ingreso, obteniéndose un caudal medio de ingreso de 5,3 m³/h. Los resultados del registro de caudales laborables y no laborables se muestran en las tablas 9 y 10 del Anexo 3, y en la tabla 11 del Anexo 3 se presenta una simulación semanal que verifica que el equalizador secundario no rebalsa ni se vacía, obteniéndose un volumen mínimo de 5,4 m³ y un máximo de 30,4 m³.

Se opta por tanque cilíndrico con un volumen total de 36 m³, contando con un margen de seguridad del 20%, un diámetro de 2 m, una altura de 3 m, y un área superficial de 12 m². El caudal de salida es de 5,1 m³/h.

Para la mezcla y oxigenación se emplean difusores de membrana de burbuja fina RG-300 del proveedor Repicky (Anexo 3 - Figura 6), siendo un total de 12 difusores para cumplir con la densidad de difusores recomendada por el fabricante entre 1 y 6 $\frac{\text{difusores}}{\text{m}^2}$ y un caudal de aire de 43,3 m³/h. Se define instalar dos sopladores modelo R100 para un trabajo en alternancia (proveedor Repicky), con una potencia de 1,6 hp, operando a 2900 rpm y proporcionando un caudal de aire de 57,9 m³/hora bajo una diferencia de presión de 400 mbar. En la tabla 12 del Anexo 3 se detallan las principales dimensiones y parámetros del equalizador secundario y su sistema de aireación.

Dado que el efluente proviene de un tratamiento fisicoquímico con sulfato de aluminio y ARIFLOC C606, y que el pH puede verse afectado por la coagulación y floculación, es fundamental considerar la estabilización del pH en el equalizador secundario antes de su ingreso a etapas biológicas. En este caso, los análisis previos indicaron que el pH del efluente tratado se mantiene en el rango de 6.89 - 7.27, lo que sugiere que no se requiere una corrección inmediata (Bach, 2021). Sin embargo, se recomienda un monitoreo continuo del pH para detectar posibles variaciones y, en caso de ser necesario, ajustarlo mediante la dosificación de un agente alcalinizante, como bicarbonato de sodio, para mantener un ambiente óptimo para la comunidad microbiana. Se recomienda evaluar la capacidad tampón del efluente antes de su ingreso al equalizador secundario para anticipar la necesidad de correcciones de pH.



6.2. Tratamiento primario

6.2.1. Coagulación y floculación

Para el diseño del coagulador, se inicia calculando el volumen del tanque como el producto entre el caudal de ingreso que se mantiene constante y el tiempo de permanencia, el cual debe ser menor a 7 segundos (Metcalf & Eddy, 2003). Al adoptar tiempo de permanencia de 5 segundos, se obtiene un volumen inferior a 1 m³, lo que se considera demasiado pequeño. Por esta razón, se opta realizar el proceso de coagulación mediante un mezclador estático.

El mezclador estático consta de un cuerpo tubular con elementos internos fijos que facilitan una mezcla turbulenta. Este se instala directamente en la tubería y asegura la mezcla del coagulante con el efluente industrial gracias a la energía turbulenta del flujo. El equipo elegido es del proveedor Grec (Anexo 3 - Figura 7). El cálculo del volumen del mezclador se realiza multiplicando el caudal de ingreso por el tiempo de permanencia adoptado, según la ecuación 6.15.

$$V = Q * t_p \quad 6.15$$

Para calcular la longitud del mezclador, se selecciona el modelo TM4/6-R-DN25÷80PN16, con un diámetro interno de 74 mm y un diámetro externo de 130 mm, adecuado para un rango de caudales entre 1,8 y 33 m³/h. Con el área transversal del mezclador y el volumen calculado, se obtiene la longitud del mezclador siendo de 1,4 m. Los parámetros de diseño y dimensiones correspondientes se detallan en la tabla 13 del Anexo 3.

Por otro lado, el volumen de la cámara del floculador se determina a partir del caudal de ingreso, considerando un tiempo de retención (t_p) de 30 minutos. Utilizando la ecuación 6.15 se calcula un volumen de floculador (V_f) de 2 m³.

Luego, se adopta un $G*t$ igual a 5×10^4 , dentro del rango recomendado de 10^4 y 10^5 . Al dividir este valor por el tiempo de permanencia, se obtiene un gradiente de velocidad (G) de $27,78 \text{ s}^{-1}$, cuyo valor se encuentra dentro ($10 \text{ s}^{-1} \leq G \leq 70 \text{ s}^{-1}$). La geometría del tanque se define como cilíndrica, donde el diámetro (D_f) es equivalente a la altura del pelo de agua del efluente (H) en el tanque, y se calcula mediante la ecuación 6.16, resultando en 1,4 m.

$$D_f = \sqrt[3]{\frac{4*V_f}{\pi}} \quad 6.16$$



Para la altura del floculador se añade un margen de seguridad del 20%, resultando en una altura total del tanque (H_t) de 1,7 m.

Por otro lado, se recomienda una mezcla de flujo axial para la floculación con paletas inclinadas. Se elige una turbina de 4 paletas, lo que indica un valor de 0,75 al número de potencia (k). En el diseño de la turbina tipo 4, se consideran las siguientes relaciones geométricas entre la cámara de floculación y la turbina:

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

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

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

$$B = \frac{D}{4}$$

$$W = \frac{D}{8}$$

$$l = \frac{D_f}{12}$$

siendo los parámetros clave a determinar: el diámetro de la turbina (D), la distancia entre la base de la cámara y la parte inferior de la turbina (h), la longitud de las paletas desde su eje de simetría vertical hasta el extremo (B), el ancho de las paletas (W) y el ancho de los deflectores (l), que se instalan en la pared de la cámara para evitar el efecto vórtice.

Adoptando un valor de 3 para la primera relación, se obtiene un diámetro de turbina (D) de 0,46 m. La segunda relación se verifica con éxito, resultando en un H/D de 3,6. Para la tercera relación se adopta un valor de 1, lo que da una altura (h) de 0,46 m. Por último, se calculan los siguientes parámetros: una longitud de paletas (B) de 0,11 m, un ancho de paletas (W) de 0,06m y un ancho de deflectores (l) de 0,11 m.

Finalmente, la potencia disipada se calcula utilizando la ecuación 6.17, junto con el número de rotaciones por segundo según la ecuación 6.18. Se considera la viscosidad del agua a 20°C (μ) de 10^{-3} Ns/m² y la densidad (ρ) de 998,2 kg/m³. Con estos valores, se obtiene una potencia de 1,58 W y una velocidad de rotación de 0,47 rps.

$$P = V_f * \mu * G^2 \quad 6.17$$



$$n = \frac{P}{k \cdot \rho \cdot D^5}^{1/3} \quad 6.18$$

En Anexo 3 - Tabla 14, se observa el resumen de los parámetros y dimensiones de la cámara de floculación y la turbina tipo 4 de flujo axial.

Finalmente, tras una búsqueda de bibliografía ^{[9][10][11]}, se seleccionaron el coagulante y el floculante adecuados para el tratamiento del efluente en sus respectivas unidades de dosificación. No obstante, se recomienda realizar ensayos de laboratorio a escala piloto para determinar con mayor precisión la dosis óptima y las condiciones ideales de aplicación, considerando factores como la variabilidad del efluente y la capacidad de amortiguación del pH.

Los ensayos de laboratorio con equipo Jar-Test, realizados con un efluente de características fisicoquímicas similares a las del presente proyecto, demostraron que una dosis de 20 mg/l de sulfato de aluminio y 5 mg/l de ARIFLOC C606, aplicados a un efluente con un pH inicial entre 7 y 9 y un tiempo de permanencia de 30 minutos, logran un porcentaje de remoción del 91.58% para sólidos suspendidos totales (SST) y 93.33% para aceites y grasas (SSEE) (Bach. 2021). De este modo, las concentraciones finales en el efluente tratado fueron de 190 mg/l para SST y 22 mg/l para SSEE. Por otro lado, se adopta una remoción de 55% similar a los resultados obtenidos en bibliografía, logrando una concentración de 875 mg/l para DQO.

El coagulante y regulador de pH, hidróxido de sodio, se dosifica en la entrada del mezclador estático mediante bombas dosificadoras conectadas a tambores. El floculante se dosifica de igual forma, pero con ingreso en la cámara de floculación.

6.2.2. Sedimentador primario

Luego del proceso de coagulación y floculación, los flocs y lodos formados se separan en un sedimentador primario. A continuación, se detalla el diseño de la unidad, el cual se compone de cuatro zonas: entrada, sedimentación, lodos y salida.

El diseño comienza con la zona de sedimentación, para la cual se adopta una carga superficial (C_s) de 30 m³/m²*día, valor que se encuentra dentro del rango propuesto por bibliografía para sedimentadores primarios antes del tratamiento biológico (Metcalf & Eddy, 2003). Junto con el caudal diario, se calcula el área superficial del sedimentador utilizando la ecuación 6.19.



$$A_s = \frac{Q}{c_s} \quad 6.19$$

Se selecciona una geometría cilíndrica para el tanque del sedimentador y se calcula el diámetro (D_s) mediante la ecuación 6.20. Además, se adopta un tiempo de permanencia (t_p) de 2 horas, acorde al rango recomendado en la bibliografía [7]. A partir de esto, se determina el volúmen del tanque (V_s) de la zona de sedimentación mediante la ecuación 6.21. Luego, se obtiene la altura del tanque (H) con la ecuación 6.22.

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi}} \quad 6.20$$

$$t_p = \frac{V_s}{Q} \quad 6.21$$

$$H = \frac{V_s}{A_s} \quad 6.22$$

La zona de lodos, denominada tolva, tiene una geometría de cono truncado invertido con un ángulo externo (α) de 60° . Este ángulo se selecciona debido al pequeño diámetro del sedimentador, y además, se decide no instalar barredores por la misma razón. El diámetro mayor del cono se establece igual al del sedimentador (D_s). La altura de la tolva (h_t) se calcula mediante la ecuación 6.23, adoptando un diámetro de salida de lodos (d) de 0,3 m, con el fin de evitar obstrucciones. Por último, el volumen de la tolva se determina mediante la ecuación 6.24, donde A_s es el área del sedimentador y A_t es el área de la tolva.

$$h_t = \frac{(D_s/2) - (d/2)}{\tan(90 - \alpha)} \quad 6.23$$

$$V_t = \frac{h_t}{3} * (A_s + A_t + \sqrt{A_s * A_t}) \quad 6.24$$

Finalmente, el volumen (V_T) y altura (H_T) total de la unidad se calculan sumando los volúmenes y alturas correspondientes al tanque y la tolva. Las dimensiones y parámetros adoptados se observan en la tabla 15 del Anexo 3.

Para el diseño de la zona de entrada se elige una alimentación central, donde el efluente ingresa hacia el centro del tanque a través de una tubería y se distribuye mediante orificios. El objetivo es lograr una distribución uniforme en toda el área transversal del sedimentador, evitando altas velocidades que puedan romper los flóculos o dispersar los lodos del fondo, disipando la energía del efluente por medio de una campana. Esta campana central comprende entre el 10% y 35% del diámetro del decantador, por lo que



toma el valor de 0,7 m; y la altura de la campana debe ser entre el 30% y 60% de la altura del decantador, siendo 1,5 m.

Para determinar la superficie de paso (A_p) del efluente se utiliza la ecuación 6.25, adoptando una velocidad de paso (v_p) de 0,35 m/s a través de cada orificio, valor que se encuentra dentro del rango bibliográfico recomendado^[7].

$$A_p = \frac{Q}{v_p} \quad 6.25$$

Se adopta un diámetro de orificio (D_o) de 0,01 m para calcular el área de paso de cada orificio (A_o) con la ecuación 6.26; luego, se obtiene la cantidad necesaria de orificios (N_o) mediante la ecuación 6.27.

$$A_o = \pi * radio^2 \quad 6.26$$

$$N_o = \frac{A_p}{A_o} \quad 6.27$$

Para evitar cortocircuitos entre el vertedero y arrastre de lodos, se decide no colocar orificios en el primer y último quinto de la altura del sedimentador. Por lo tanto, los orificios se distribuyen entre 0,5 y 2 m, siendo la altura máxima total de 1,5 m. Se recomienda una separación máxima de 0,5 m entre orificios, por lo que se opta por distribuirlos en 4 columnas y 10 filas, con una separación vertical (S_v) de 0,1 m y una separación horizontal (S_h) de 0,3 m. Así, se obtiene una altura necesaria de 1 m para la zona de entrada (H_e) con orificios. El diámetro de la zona de entrada se define como un 20% del diámetro del sedimentador. Por último, se verifica que la disposición de los orificios quepan dentro de la zona de entrada (P_e).

En Anexo 3 - Tabla 16, se presentan los parámetros adoptados y dimensiones obtenidas de la zona de entrada.

Para el diseño de la zona de salida, se instalan vertederos de una altura útil (h_v) de 0,02 m, la cual debe ser inferior al requerimiento de 0,07 m^[7] y un ángulo (θ) de 90°. El caudal de salida de cada vertedero (Q_v) se calcula utilizando la ecuación 6.28.

$$Q_v = 1,34 * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * h_v^{2,47} \quad 6.28$$

El número de vertederos se determina mediante la ecuación 6.29 y la altura real del vertedero (h_v') se define considerando una revancha de 0,02 m. El ancho (W_v) del vertedero se obtiene con la ecuación 6.30.



$$N_V = \frac{Q}{Q_v} \quad 6.29$$

$$W_V = 2 * h'_V * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad 6.30$$

La longitud útil (L_V) de los vertederos se obtiene con la ecuación 6.31, y junto con el perímetro (P) del sedimentador se obtiene el espacio entre vertederos (E_V) según la ecuación 6.32.

$$L_V = W_V * N_V \quad 6.31$$

$$E_V = \frac{P - L_V}{N_V} \quad 6.32$$

Finalmente, se dimensiona el canal del vertedero adoptando una velocidad (V_C) de 0,02 m/s, considerada adecuada para el flujo dentro del canal. A continuación, el área del canal (A_C) se calcula utilizando la ecuación 6.33.

$$A_C = \frac{Q}{V_C} \quad 6.33$$

Se adopta un ancho de canal (W_C) de 0,3 m y se calcula la altura interna del canal (h_i) según la ecuación 6.34. La altura de la pared externa del canal (h_e) se calcula con la ecuación 6.35, sumando un margen de seguridad de 0,2 m.

$$h_i = \frac{A_C}{W_C} \quad 6.34$$

$$h_e = h_i + h'_v + 0,2 \text{ m} \quad 6.35$$

Para la pendiente del canal (S) se adopta un valor entre 1 a 3%^[7], eligiendo 0,003 m lo que permite que el efluente fluya por gravedad. En la tabla 17 del Anexo 3, se presentan los parámetros y dimensiones correspondientes a la zona de salida del sedimentador primario.

La eficiencia de remoción de la DBO y SST en el sedimentador primario depende del tiempo de permanencia y la carga superficial. Por lo tanto, se establece una eficiencia de remoción del 35% para la DBO y del 50% para los SST. De esta forma, las concentraciones de salida son 502 mg/l para DBO y 95 mg/l para SST.



6.3. Tratamiento secundario

El efluente industrial, luego de pasar por el tratamiento primario, se combina en ecualizador secundario con el efluente cloacal proveniente del pretratamiento. En esta etapa ambas corrientes se homogeneizan antes de ingresar al tratamiento secundario, manteniendo un nuevo caudal constante de 122,4 m³/d. Como resultado de esta mezcla, los valores de DBO, DQO y SST se estabilizan en 445 mg/L, 1618 mg/L y 142 mg/L, respectivamente. Esta variación se debe a que el efluente cloacal no ha sido sometido previamente a un tratamiento primario, lo que modifica las características finales de la homogeneización.

Para el tratamiento secundario, es fundamental mantener una relación C/N/P de 100/5/1, lo cual es esencial para satisfacer las necesidades nutricionales de los microorganismos. El efluente ingresa a esta etapa con una DBO de 445 mg/l, lo que implica que las concentraciones teóricas de nitrógeno y fósforo deben ser de 22,25 mg/l y 4,45 mg/l, respectivamente. Después del ecualizador secundario, el efluente presenta una relación C/N/P de 445/23/5, cumpliendo así con los requerimientos nutricionales recomendados (Metcalf & Eddy, 2003).

6.3.1. Alternativa A

La alternativa A consta de un sistema de lodos activos, seguido por un sedimentador secundario con reciclo. A continuación, se desarrolla el diseño de las unidades.

6.3.1.1. Lodos activos

Para dimensionar el tanque del reactor biológico de mezcla completa con aireación, se opta que la cinética de reacción que rige el tratamiento siga el modelo de Monod con decaimiento. Para la elaboración de los balances de masa, se consideran las siguientes premisas:

- El reactor opera en estado estacionario, es decir, algunas variables no varían en función del tiempo.
- El efluente que ingresa al reactor se considera estéril, es decir, con concentración inicial de microorganismos igual a cero.
- Debido a la suposición de mezcla completa, la concentración dentro del reactor es igual a la de salida.



- La concentración de microorganismos en la salida del sedimentador secundario se asume cero, ya que se considera una separación total.
- Las concentraciones de microorganismos en el reciclo y en la purga del sedimentador secundario se consideran iguales.
- La concentración de sustrato a la salida del reactor se equipara a la concentración final, dado que no ocurre degradación de biomasa en el sedimentador secundario.

El diseño del tanque se inicia con el planteamiento de un balance de masa, utilizando como volumen de control el sistema completo, que incluye el tanque de mezcla completa, el sedimentador secundario y la recirculación de fangos. Este balance se detalla en la ecuación 6.36,

$$V \frac{dx}{dt} = Q_0 X_0 - (Q_S X_S + Q_P X_P) + V r_g \quad 6.36$$

donde V es el volumen del reactor, Q_0 es el caudal de ingreso al reactor, X_0 es la concentración inicial de microorganismos, Q_S es el caudal de salida del reactor, X_S es la concentración de salida de microorganismos, Q_P es el caudal de purga del reactor, X_P es la concentración de purga de microorganismos y r_g es la tasa neta de crecimiento bacteriano.

En base a las consideraciones planteadas, las variables $\frac{dx}{dt}$, X_0 y X_S toman el valor de cero, por lo que el balance se expresa según la ecuación 6.37.

$$0 = - Q_P X_P + V r_g \quad 6.37$$

El modelo de crecimiento de Monod con decaimiento incorpora la tasa de crecimiento exponencial, considerando tanto la energía necesaria para el mantenimiento celular como la muerte y el decaimiento de los microorganismos. La descomposición endógena refleja la reducción de la biomasa celular por estos factores y es proporcional a la concentración de los organismos presentes. La ecuación 6.38 muestra la expresión de la tasa neta de crecimiento bacteriano,

$$r_g = \mu_{max} \frac{S \cdot X}{K_s + S} - K_d X \quad 6.38$$

donde μ_{max} es la tasa máxima de crecimiento específico, S es la concentración de sustrato en el efluente, X es la concentración de microorganismos en el reactor, K_s es la constante de saturación media y K_d es el coeficiente de descomposición endógena.



Los parámetros μ_{max} , K_S y K_d son variables cinéticas que se determinan mediante ensayos de laboratorio; sin embargo, para el diseño de la unidad se adoptan valores dentro de rangos recomendados por bibliografía [7][12]. De este modo, la tasa máxima de crecimiento específico toma un valor de $1,26 \text{ d}^{-1}$, la constante de saturación media de 80 mg/l y el coeficiente de descomposición endógena de $0,06 \text{ mg/l}$.

Además, la concentración de microorganismos en el licor mezcla de un reactor de mezcla completa debe estar entre los 3000 y 6000 mg/l , por lo que se adopta un valor de 4000 mg/l .

Para el cálculo del caudal de reciclo, se plantea un segundo balance de masa donde el volumen de control es el sedimentador secundario, según la ecuación 6.39,

$$(Q_0 + Q_r)X = Q_S X_S + (Q_r + Q_P)X_r \quad 6.39$$

donde Q_r es el caudal de reciclo al reactor y X_r es la concentración de reciclo de microorganismos. El cociente entre el caudal de reciclo y el caudal de entrada debe encontrarse entre $0,25$ y 1 (Metcalf & Eddy, 2003), tomando el valor de $0,9$. De esta forma, se obtiene un caudal de reciclo de $118,7 \text{ m}^3/\text{d}$.

La concentración de microorganismos en la purga y en el reciclo debe ser superior a la del reactor, por lo que se asume que la concentración es el doble obteniéndose 8.000 mg/l para ambas variables.

A continuación, se desarrolla un balance de caudales para todo el volumen de control, descrito en la ecuación 6.40. El balance de sustrato se establece mediante la ecuación 6.41. Al aplicar la condición de estado estacionario, el término $\frac{dS}{dt}$ se anula, permitiendo sustituir la ecuación 6.41 en la 6.40, lo que conduce al balance final mostrado en la ecuación 6.42,

$$Q_0 = Q_P + Q_S \quad 6.40$$

$$V \frac{dS}{dt} = Q_0 S_0 - (Q_P S + Q_S S) - V r_{su} \quad 6.41$$

$$0 = Q_0 (S_0 - S) - V r_{su} \quad 6.42$$

donde S_0 es la concentración inicial de sustrato y r_{su} es la tasa de utilización de sustrato. La concentración inicial de sustrato indica la DBO de entrada al tanque de mezcla, de valor 445 mg/l , como se mencionó al comienzo del capítulo.



La concentración de sustrato en el efluente corresponde al valor de DBO a la salida del sistema de lodos activados. Tal como se mencionó al inicio del proyecto, para el diseño se adopta un límite de vertido, al menos de un 20% inferior al máximo permitido por la Resolución 336/03 (ADA). De este modo, se establece un valor de sustrato (S) de 10 mg/l, asegurando así el cumplimiento de la normativa vigente.

La tasa de utilización de sustrato se define según la ecuación 6.43, donde K representa la tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos. Este valor se calcula como el cociente entre la tasa máxima de crecimiento específico (μ_{max}) y el coeficiente de producción máxima (Y). Se ha adoptado un valor de Y igual a 0,49, dentro del rango de 0,4 a 0,8 [7]. Con estos valores, se obtiene un K de 2,6 d⁻¹, que se encuentra dentro del rango recomendado de 2 a 10 [7].

$$r_{su} = -K \frac{XS}{K_s + S} \quad 6.43$$

A través de la ecuación 6.44, se calcula el volumen del reactor, y al dividir el caudal de entrada (Q₀) por el volumen del reactor, se obtiene el tiempo de retención hidráulico (θ).

$$V = \frac{Q_0(S_0 - S)}{\frac{\mu_{max}}{Y} \frac{XS}{K_s + S}} \quad 6.44$$

A continuación, se calculan las dimensiones del reactor, estableciendo una altura de 4 m y obteniendo un área superficial del tanque de 12 m². Se opta por una geometría cilíndrica con un diámetro (D) de 4 m.

Utilizando la ecuación 6.45, se determina el tiempo de retención celular (θ_c), que representa el tiempo medio de residencia de los microorganismos en el sistema. El valor calculado se encuentra dentro del rango recomendado en la bibliografía, que oscila entre 5 y 15 días [7].

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_p X_p} \quad 6.45$$

Para verificar la relación sustrato-microorganismo (F/M), se emplea la ecuación 6.46, cuyo resultado se encuentra en el rango de 0,2 a 0,6 d⁻¹. Asimismo, utilizando la ecuación 6.47, se calcula la carga volumétrica, la cual debe estar entre 0,8 y 2 kg DBO/m³ día.

$$F/M = \frac{Q_0 S_0}{VX} \quad 6.46$$



$$CV = \frac{Q_0 S_0}{V} \quad 6.47$$

La eficiencia del reactor en la remoción de DBO se estima mediante la ecuación 6.48, obteniendo un valor del 97%, lo que indica la alta capacidad del sistema de lodos activos. Se aplica la misma eficiencia y se realiza un cálculo similar para la DQO. De esta forma, las concentraciones de salida son 10 mg/l para DBO y 17 mg/l para DQO.

$$Eff = 100 * \frac{S_0 - S}{S_0} \quad 6.48$$

En la tabla 18 del Anexo 3 se presentan los parámetros y dimensiones correspondientes al tanque de aireación del sistema de lodos activos.

Finalmente, se diseña el sistema de aireación a instalar en el tanque. El primer paso es calcular el requerimiento de oxígeno (RO) utilizando la ecuación 6.49, donde f es el factor de conversión y P_x corresponde a la producción de lodos.

$$RO = \frac{Q(S_0 - S)}{f * 1000} - 1,42 P_x * \frac{Q(S_0 - S)}{*1000} \quad 6.49$$

De acuerdo con la bibliografía proporcionada por la cátedra, el factor de conversión debe estar dentro del rango 0,55 y 0,7; por lo tanto, se adopta un valor de 0,65. La producción de lodos, se determina aplicando la ecuación 6.50.

$$P_x = \frac{Y}{1 + \theta_c * K_d} \quad 6.50$$

Para calcular la concentración de saturación de oxígeno disuelto (C_{Wat}) en el efluente, se utiliza la ecuación 6.51, considerando la temperatura y altitud del mismo. Primero se toma el valor de la solubilidad del oxígeno en agua a la temperatura de diseño del reactor (25°C), obteniendo un valor de 8,26 mg/l (Anexo 3 - Figura 8). Luego, se busca el factor de calibración de los valores de solubilidad por variación de la presión atmosférica en función de la altitud donde se instalará el equipo de aireación, basado en la figura 9 del Anexo 3. Dado que la planta se ubica a 26 msnm ^[13], el factor de calibrado es del 99%, resultando en un C_{Wat} de 8,2 mg/l.

$$C_{Wat} = Solubilidad * Calibrado \quad 6.51$$

Luego, se procede a calcular el requerimiento de oxígeno estándar (SOR) según la ecuación 6.52,



$$SOR = \frac{RO}{\frac{\beta * C_w - C_s}{C_s} * 1,024^{(T-20)} * \alpha} \quad 6.52$$

donde β es el factor de corrección por salinidad y tensión superficial, C_L es la concentración de OD en condiciones de funcionamiento, C_S es la concentración de O_2 saturado en agua limpia a $20^\circ C$ y 1 atm, T es la temperatura del agua y α es el factor de conversión de la transferencia de O_2 para agua residual. Empleando un β de 1, C_L de 2 mg/l, C_S de 9,17 mg/l, una temperatura de $25^\circ C$ y un α de 0,8, se obtiene un SOR de 100 Kg O_2 /día.

Se instalan difusores de burbuja fina modelo RG-300 de la marca Repicky para suministrar aire en el tanque (Anexo 3 - Figura 6). Para estimar la cantidad necesaria, se adopta inicialmente una densidad de 1 difusor/ m^2 , y luego multiplicando este valor por la superficie del reactor, resulta en 12 difusores en total. En base a la altura del tanque y del caudal de diseño de los difusores se determina que la capacidad de transferencia de oxígeno ($C_{transf. O_2}$) es de 320 g O_2 /h (Anexo 3 - Figura 10).

Mediante la ecuación 6.53, se determina que la transferencia de oxígeno es de 89,4 kg O_2 /día.

$$Transferencia\ de\ O_2 = C_{transf. O_2} * Difusores \quad 6.53$$

En este caso, la transferencia de oxígeno es inferior al SOR, lo que indica que los difusores no suministrarán la cantidad de oxígeno necesaria. Por esta razón, se elige aumentar la densidad de difusores a 1,7 difusor/ m^2 . Utilizando el gráfico de Anexo 3 - Figura 11, se obtiene la transferencia de oxígeno (SOTE) para distintas cantidades de difusores, obteniéndose un valor de 6,4%.

Mediante la ecuación 6.54, se determina el caudal de oxígeno transferido por los difusores (Q_{O_2}), tomando que 1 Nm^3 es equivalente a 280 g O_2 / Nm^3 .

$$Q_{O_2} = \frac{SOR}{SOTE * H * 1Nm^3} \quad 6.54$$

Para determinar la cantidad final de difusores, se divide el caudal de oxígeno por el caudal de diseño de cada difusor, obteniendo un total de 20 difusores y una transferencia de oxígeno de 152 kg O_2 /día, cumpliendo con la condición de ser mayor al SOR.

El caudal de oxígeno será suministrado por un soplador modelo R300 de la marca Repicky (Anexo 3 - Figura 5), con una presión diferencial de 500 mbar proporciona un



caudal de aire de 168 m³/h, operando a 2900 rpm con una potencia de 4,8 hp. Se decide instalar un segundo soplador para un trabajo en alternancia, siendo un total de 2 sopladores.

En la tabla 19 del Anexo 3 se muestran los resultados y parámetros empleados para el diseño del tanque de aireación del sistema de lodos activos.

6.3.1.2. Sedimentador secundario

Se opta por diseñar un sedimentador de forma circular, dado que, según Eckenfelder, ofrece un rendimiento óptimo. Idealmente, el dimensionamiento debería basarse en ensayos de laboratorio para determinar la carga superficial y el tiempo de retención teórico. No obstante, se emplearán valores extraídos de fuentes bibliográficas como Eckenfelder, Metcalf & Eddy, y apuntes de la cátedra, ya que no se dispone de la posibilidad de realizar ensayos.

El diseño del sedimentador secundario sigue los mismos principios que los de los decantadores primarios, ajustando los parámetros del proceso debido a la diferente naturaleza y características de los fangos, en comparación con los sólidos eliminados en el sedimentador primario (Sainz Sastre, 2005).

El caudal de ingreso a la unidad corresponde a la suma del caudal de ingreso al tanque de aireación y el caudal de reciclo, siendo equivalente al caudal de salida.

La carga superficial (C_s) del sedimentador secundario se debe encontrar entre 8 y 33 m³/m²día (parámetros brindados por la cátedra), por lo que se obtiene 25,1 m³/m²día. Luego, se adopta un tiempo de permanencia (t_p) de 3,4 horas, ya que se debe encontrar entre 2 y 4 horas. Siendo un sedimentador con geometría circular, la altura de la zona de sedimentación y de la zona de lodos, debe estar entre 3 y 4,5 m, con un diámetro entre 3 y 60 m; adoptando una altura de 3,5 m y un diámetro de 3,5 m, logrando que se cumplan los rangos recomendados [7].

Para obtener los sólidos suspendidos totales correspondientes a la concentración de microorganismos en el reactor (X_{SST}) se divide la concentración de microorganismos en el reactor (X) por $0,8 \frac{SSV}{SST}$, obteniendo un valor de 4750 mg/l. Utilizando la ecuación 6.55, se verifica que la carga de sólidos (C_{sol}) se encuentre dentro del rango de 1 a 6 kg SST/m²h, siendo un valor de 5 kg SST/m²h.

$$C_{sol} = \frac{(Q_0 + Q_r) X_{SST}}{A_s} \quad 6.55$$



En Anexo 3 - Tabla 20, 21 y 22 se muestran los resultados y parámetros empleados para el diseño de las zonas de sedimentación, lodos, entrada y salida del sedimentador secundario correspondiente al sistema de lodos activos.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema de lodos activos alcanza un 97%, obteniéndose un valor de salida de 4,2 mg/l para SST a la salida del clarificador.

6.3.2. Alternativa B

6.3.2.1. Lecho percolador

Para el diseño de la unidad lecho percolador, se comienza por definir algunas variables mediante bibliografía ^{[7][8][12]}, las cuales se detallan en la tabla 23 del Anexo 3.

Para el cálculo del volumen del lecho percolador se despeja la variable de la ecuación 6.56,

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp\left(-K_T * S_a * \frac{V}{Q_T}\right) \quad 6.56$$

siendo S_e la DBO que egresa del lecho percolador, S_i la DBO dentro del lecho percolador, K_T la constante de velocidad a la temperatura del efluente que ingresa, S_a la superficie específica del relleno seleccionado, V es el volumen del lecho percolador y Q el caudal del efluente que ingresa.

De esta manera, obtenemos un volumen de 19,7 m³ y, con la altura adoptada, un área superficial del lecho de 4,9 m². Se elige una geometría cilíndrica, lo que determina un diámetro de 2,5 m.

La superficie específica del relleno (S_a) varía según el proveedor, la forma, el tipo de material, y otras variables. En este caso, se seleccionó un relleno a granel de la marca ECOPLAST (ver ficha técnica en Anexo 3 - Figura 12), con una superficie específica S_a de 200 m²/m³, y una altura máxima de relleno de 6 m.

Para mantener una comunidad bacteriana activa, se adopta un factor de recirculación (α) igual a 1, y se calcula el caudal total (Q_T) utilizando la ecuación 6.57.

$$Q_T = (1 + \alpha) * Q \quad 6.57$$



Por otro lado, la DBO dentro del lecho percolador se calcula usando la ecuación 6.58, donde S_0 corresponde a la DBO que ingresa al lecho percolador. Además, la S_e se obtiene mediante la ecuación 6.59, a partir de una remoción del 83%.

$$S_i = \frac{S_0 + (\alpha * S_e)}{1 + \alpha} \quad 6.58$$

$$S_e = (1 - \mu) * S_0 \quad 6.59$$

Debido a que se trata de un lecho percolador con carga orgánica muy alta, se debe corroborar que la carga hidráulica (C_H) y la carga orgánica (COV) se encuentren dentro de los parámetros establecidos por bibliografía, mediante la ecuación 6.60 y 6.61.

$$C_H = \frac{Q_T}{A} \quad 6.60$$

$$COV = \frac{S_i * Q_T}{V} \quad 6.61$$

La carga hidráulica obtiene un valor de 49,7 m^3/m^2*d , dentro del rango recomendado para muy alta carga entre 40 y 200 m^3/m^2*d ; y COV toma el valor de 3,2 kg DBO/ m^3*d , estando dentro del rango recomendado de 0,8 a 6 kg DBO/ m^3*d .

Finalmente, se optó por incluir 4 brazos de irrigación (a), con una velocidad de operación de 3,2 rpm, según la ecuación 6.62; y una velocidad de lavado de 0,5 rpm, según la ecuación 6.63,

$$n_{op} = \frac{Q_T/A*1000}{a*SK_{op}*60} \quad 6.62$$

$$n_{op} = \frac{Q_T/A*1000}{a*SK_{lav}*60} \quad 6.63$$

donde se opta por un SK_{op} de 65 mm/brazo encontrándose dentro del rango de 30 y 100 mm/brazo, y un SK_{lav} de 450 mm/brazo estando dentro del rango de 300 y 600 mm/brazo.

Según el proveedor y la fuente bibliográfica (Metcalf & Eddy, 2003), la ventilación puede ser natural, es decir, sin la necesidad de sopladores, siempre que la altura del relleno no supere los 6 m. Dado que la altura de esta unidad es de 4 m, se opta por diseñar una ventilación natural.

Se adopta un área total de ventanas (A_v) de 0,7 m^2 , distribuidas en 5 ventanas (N_v). De esta forma, el área de cada ventana (a_v) es de 0,15 m^2 , con un largo de 1 m y un alto de



0,1 m. Se verifica que el perímetro total de las ventanas (P_V) que es de 5 m, no exceda el perímetro del lecho percolador (P_L) calculado en 7,9 m.

En la tabla 24 del Anexo 3, se muestran los resultados y parámetros empleados para el diseño del lecho percolador.

La eficiencia de remoción de DBO y DQO en el sistema de lecho percolador alcanza un 83%, obteniéndose un valor de salida de 76 mg/l para DBO y 134 mg/l para DQO. Dado que con este resultado no se cumple la normativa ambiental de vuelco, se deben instalar una segunda unidad de tratamiento, pudiendo ser dos lechos percoladores en serie para alcanzar un valor de DBO de 13 mg/l y para DQO 23 mg/l, cumpliendo con los parámetros de vuelco.

6.3.2.2. Sedimentador secundario

Se opta por diseñar un sedimentador de forma circular, dado que, según Eckenfelder, ofrece un rendimiento óptimo. Idealmente, el dimensionamiento debería basarse en ensayos de laboratorio para determinar la carga superficial y el tiempo de retención teórico. No obstante, se emplearán valores extraídos de fuentes bibliográficas como Eckenfelder, Metcalf & Eddy, y apuntes de la cátedra, ya que no se dispone de la posibilidad de realizar ensayos.

El diseño del sedimentador secundario sigue los mismos principios que el desarrollado en la Alternativa A (capítulo 6.3.1.2.). En la tabla 25, 26 y 27 del Anexo 3 se muestran los resultados y parámetros empleados para el diseño de las zonas de sedimentación, lodos, entrada y salida del sedimentador secundario correspondiente al sistema de lodos activos.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema de lodos activos alcanza un 97%, obteniéndose un valor de salida de 4,2 mg/l para SST del clarificador.

6.3.3. Alternativa C

6.3.3.1. Reactor MBR

Esta alternativa es la forma de tratamiento con mayor desarrollo en las últimas décadas, evolucionando a partir del proceso de lodos activos. La unidad suministrada por Aeration Argentina posee las características que se detallan en la tabla 28 del Anexo 3 ^[31].



Esta unidad proporciona un efluente de alto grado de depuración con tratamiento terciario, logrando la eliminación completa de microorganismos patógenos, niveles de DBO inferiores a 9 mg/l, turbidez menor a 0,2 NTU y un pH de entre 5,8 y 8,6. Asimismo, el proceso de remoción de compuestos nitrogenados mantiene concentraciones de NH_3 por debajo de 1 mg/l y de nitrógeno total menores a 10 mg/l.

Dado que esta unidad cuenta como un reactor de lodos activos y un sistema de membrana incluido, las dimensiones del tanque de mezcla se determinan siguiendo el diseño de la alternativa A, Lodos Activos. Sin embargo, el sistema MBR permite alcanzar una concentración de microorganismos en el licor mezcla significativamente mayor, entre 4.000 y 12.000 mg/l (Lopetegui Garnica, J., Trouvé, E., 2004). Por esta razón, se adopta una concentración de microorganismos de 10.000 mg/l. El tiempo de retención celular se encuentra dentro del rango recomendado de 5 a 20 días, mientras que el tiempo de retención hidráulico se sitúa entre 4 y 6 horas^[7]. Al obtener mayores tiempos de retención celular, esta tecnología puede tratar efluentes hasta con una biodegradabilidad (DBO_5/DQO) igual o mayor a 0,3 (Judd, S. 2011).

En la tabla 29 del Anexo 3, se muestran los resultados y parámetros empleados para el diseño de MBR.

En el reactor MBR se instalan difusores de aire debajo de los módulos de membranas para suministrar el oxígeno necesario para el proceso biológico, para homogeneizar el efluente y facilitar la limpieza de las membranas. Primero, se evalúa el requerimiento de oxígeno (RO) y el requerimiento de oxígeno estándar (SOR), siguiendo la metodología desarrollada en la Alternativa A, para luego determinar la cantidad de equipos necesarios. Se seleccionan difusores de membrana de burbuja fina de Repicky (Anexo 3 - Figura 6), que se colocan en una rejilla de módulos removibles, cada uno con su respectiva alimentación de aire, siendo en total 12 difusores.

El caudal de oxígeno será suministrado por un soplador modelo R200 de la marca Repicky (Anexo 3 - Figura 5), con una presión diferencial de 500 mbar proporciona un caudal de aire de 118 m^3/h , operando a 2900 rpm con una potencia de 3,8 hp. Se decide instalar un segundo soplador para un trabajo en alternancia, siendo un total de 2 sopladores. En la tabla 30 del Anexo 3 se observan los resultados y parámetros empleados para el diseño del sistema de aireación.

Por último, se realiza el cálculo de remoción de coliformes fecales con base en LRV, es decir el Valor de Remoción Logarítmica, o por sus siglas en inglés, Log Removal Value,



para reformar la información brindada por el asesor de que el sistema MBR no requiere de una unidad extra de desinfección. El modelo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$LRV = \log_{10} * \left(\frac{C_{inicial}}{C_{final}} \right)$$

Donde $C_{inicial}$ es la concentración inicial de coliformes fecales, C_{final} es la concentración final de coliformes fecales después del tratamiento. Los valores LRV se definen y determinan experimentalmente en estudios de laboratorio o en plantas piloto controladas (USEPA, 2007).

Siendo que los coliformes fecales en el efluente se encuentran en el rango de 10^4 y 10^6 UFC/100ml, tomamos el valor más alto para $C_{inicial}$. El valor de LRV típico para reactores MBR con luz de paso entre 0,1 a 0,4 μ m, a 25°C es de 4 a 6 log, según estudios (Judd, S., 2011). Se toma un valor conservador dentro del rango de 5 log.

Reemplazando los valores, se llega a una concentración de coliformes fecales final de 10 UFC/100 mL. De esta forma, encontrándose por debajo del valor límite, se verifica que el sistema MBR proporciona una desinfección suficiente sin necesidad de una unidad adicional de desinfección.

Finalmente, la eficiencia de remoción en el reactor MBR es de 98% para sólidos suspendidos totales (SST), 98% para la demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), obteniéndose un valor de salida de 2,8 mg/l, 8,9 mg/l y 16 mg/l respectivamente.

6.4. Tratamiento terciario

6.4.1. Cloración

El caudal de diseño para la cámara de cloración corresponde al flujo de salida del tratamiento de ultrafiltración. Por lo tanto, se diseñan dos tratamientos terciarios, uno para la Alternativa A y otro para la Alternativa B, dado que la Alternativa C utiliza un sistema MBR, el cual no requiere desinfección adicional.

El proceso se inicia con el cálculo de la concentración de cloro residual (C_{Cl}) necesaria para reducir la cantidad de coliformes iniciales (N_0) a una cantidad de coliformes finales (N) de 2 UFC/100ml, mediante la ecuación 6.64,



$$\frac{N}{N_0} = \left(1 + 0,23 \frac{l}{\text{min} * \text{mg}} * C_{cl} * t_c\right)^{-3} \quad 6.64$$

donde t_c es el tiempo de contacto adoptado entre 20 a 30 minutos.

A continuación, se determina la dosis diaria de cloro (d_{cl}) para cada alternativa utilizando la ecuación 6.65.

$$d_{cl} = C_{cl} * Q \quad 6.65$$

Con la dosis diaria de cloro y el caudal correspondiente a cada alternativa, se calculan las dimensiones de diseño de la cámara de contacto, comenzando por el volumen (V), mediante la ecuación 6.66.

$$V = Q * t_c \quad 6.66$$

Se adopta una altura de 1,7 m, el cual incluye un margen de seguridad de 0,2 m. A partir de esto, se determinan el ancho (W) y la longitud (B) de la cámara, considerando que el ancho de cada canal (L) debe cumplir con la relación especificada en la ecuación 6.67.

$$\frac{W}{L} \geq 40 \quad 6.67$$

Finalmente, se define el ancho de los tabiques (W_T) y se calcula el número necesario de tabiques (N_t) mediante la ecuación 6.68.

$$N_t = \frac{B}{L + W_T} - 1 \quad 6.68$$

En la tabla 31 del Anexo 3, se muestran los resultados y parámetros empleados para el diseño de la cámara de cloración para la Alternativa A y B.

6.5. Tratamiento para reuso de agua en limpieza

6.5.1. Ultrafiltración

Para reducir el consumo de agua mediante la reutilización en el proceso de limpieza de pisos en toda la planta, se propone implementar un sistema de ultrafiltración. Este tratamiento permite eliminar partículas de polvo de vidrio con tamaño de hasta 0,1 μm , logrando un agua de alta calidad que puede ser reutilizada directamente. Se seleccionó un equipo de ultrafiltración modelo UF-40K-4 de Pure Aqua INC., que cubre un caudal de



diseño de 122 m³/d [24]. De esta forma, se elimina la presencia de partículas de polvo de vidrio, garantizando una alta calidad de efluente apta para uso de limpieza del suelo.

En cuanto a las especificaciones de operación, se cumplen con lo requerido: un pH entre 6 y 9, una temperatura menor a 40°C, un valor de SST menor a 100 mg/l y una DQO máxima de 60 mg/l.

Para habilitar la extracción y reutilización del agua tratada directamente luego del proceso de ultrafiltración, se requiere de una conexión a la cañería de PEAD mediante una derivación con una Tee de PEAD, incorporando una válvula de esfera para regular el flujo. A esta derivación se aplica un niple de transición PEAD a rosca, que permitirá la instalación de una canilla de descarga en un punto accesible para el personal de limpieza. Este sistema garantiza un acceso controlado del agua reutilizada sin afectar el caudal destinado a la cámara del predio para su posterior vuelco.

Por último, la etapa de UF también funciona como tratamiento terciario, operando con membranas de 0,03 μ m, lo que permite una remoción física de coliformes aún más estricta que la microfiltración en el reactor MBR. Estas membranas son impermeables a bacterias, que típicamente miden entre 0,5 a 2 μ m, incluyendo a *Escherichia coli* (WHO, 2006). Para evaluar la remoción de coliformes, se debe plantear nuevamente un cálculo con base en LRV (Log Removal Value), donde según bibliografía, en sistema de ultrafiltración con este tipo de membranas se logra una remoción de entre 3 y 6 log (USEPA, 2004; WHO, 2006). De esta forma, dependiendo de la alternativa seleccionada, se obtienen los siguientes resultados, tomando una remoción de 3 para UF, y sabiendo que la EPA recomienda un total de 2 o menos UFC/100 mL:

Tabla 7. Eficiencia de remoción de coliformes totales por Alternativa y Ultrafiltración.

Alternativa A:	Lodos Activos + Sedimentador	Ultrafiltración (log 3)	Clorinador
Coliformes totales por unidad a la salida de la unidad	10 ⁶ UFC/100 mL	1.000 UFC/100 mL	2 UFC/100 mL
Alternativa B:	Lecho Percolador + Sedimentador	Ultrafiltración (log 3)	Clorinador
Coliformes totales por unidad a la salida de la unidad	10 ⁶ UFC/100 mL	1.000 UFC/100 mL	2 UFC/100 mL
Alternativa C:	Reactor MBR (log 5)	Ultrafiltración (log 3)	Sin Clorinador
Coliformes totales por unidad a la salida de la unidad	10 UFC/100 mL	10 ⁻² UFC/100 mL	-



Como conclusión, se observa que la combinación de un reactor MBR seguido de una unidad de ultrafiltración, se obtiene una alta remoción de coliformes fecales, frente a la Alternativa A y B. Además, todas las alternativas cumplen con los parámetros de calidad recomendados por la EPA y la OMS para su reutilización no potable en la limpieza de pisos industriales, donde los valores resultantes de la DBO₅, SST y la turbidez para las tres alternativas se encuentran por debajo de los límites que se pueden observar en la tabla 4 y 5.

6.6. Cámara de muestreo y vertedero

La Resolución N° 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) establece que los establecimientos industriales y/o especiales, comprendidos en el artículo 2° del Decreto N° 674/89 y su modificatorio, están obligados a construir una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC), destinada a facilitar las funciones de fiscalización de la autoridad competente. En caso de incumplimiento, las industrias serán sancionadas con multas por MAyDS.

Se diseñó un vertedero para el relevamiento de caudales, seleccionando un modelo triangular de paredes delgadas. A partir de los valores calculados de caudal para toda la jornada laboral, se determinaron los caudales máximo, mínimo y medio. Con estos valores, se calculó la carga sobre el vértice (h) para diferentes ángulos del vertedero (α), utilizando la fórmula de Gourley:

$$h = \left(\frac{Q}{1,32 * tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right)^{\frac{1}{2,47}}$$

Se optó por un ángulo de 30° debido a que, en este caso, los valores de h se acercaban más a la mitad de la regla de 20 cm, diseñada para mediciones rápidas. De esta forma, se contemplaron tanto situaciones de bajo como de alto caudal, permitiendo su medición con un único instrumento. Para los demás ángulos (35°, 45°, 60° y 90°), los valores de h medio eran muy bajos.

Para dimensionar el vertedero y el canal, se tomó en cuenta un caudal medio de 5 m³/h y un h_{\max} de 10,8 cm. La base del vertedero (p) se dimensionó en 0,5 m, y el ancho del canal (B) se estableció en 0,8 m. El largo mínimo del canal (L) se calculó como 10 veces el valor de h_{\max} , y la distancia de medición (L_h) como 5 veces el h_{\max} , según bibliografía brindada por la cátedra. De esta forma, se obtienen resultados de 1,1 m y 0,5 m,



respectivamente. Finalmente, se determinó una altura mínima del canal de 0,8m, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Altura mínima del canal} = 0,2 + p + (1,2 * h_{max})$$

En la tabla 32 y figura 13 del anexo 3 se incluyen los parámetros y dimensiones de la cámara toma muestra y la regla diseñada para la medición rápida y el control de caudales en la planta de tratamiento, respectivamente.

6.7. Tratamiento de lodos

El primer paso en el diseño del tratamiento de lodos es calcular su generación diaria. Para ello, se determina la masa de lodos (M_L) generada en cada unidad mediante la ecuación 6.69,

$$M_L = Q * SST * Eff_{SST} \quad 6.69$$

donde Q es el caudal de ingreso a la unidad de tratamiento, SST es la concentración de sólidos suspendidos totales de entrada a la unidad de tratamiento, y Eff_{SST} es la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales.

A continuación, se determina la densidad relativa del lodo (S_L) en cada unidad de tratamiento utilizando la ecuación 6.70, adoptando los porcentajes de humedad (H) y las densidades relativas de los sólidos (S_S), como se observa en la figura 14 del Anexo 3. El porcentaje de sólidos del lodo en fracción decimal (P_S) y el porcentaje de agua en fracción (P_A) se calculan a partir del porcentaje de humedad adoptado para cada caso. La densidad relativa del agua (S_A) también se considera en este cálculo.

$$\frac{1}{S_L} = \frac{P_S}{S_S} + \frac{P_A}{S_A} \quad 6.70$$

Finalmente, se calcula el volumen diario de lodos sólidos (V_L) generado en cada unidad de tratamiento mediante la ecuación 6.71, considerando la densidad relativa del agua.

$$V_L = \frac{M_L}{S_L * \rho * P_S} \quad 6.71$$

En Anexo 3 - Tabla 32 se presentan los parámetros utilizados, así como la masa y el volumen de lodo generado en cada unidad de tratamiento. Al sistema de tratamiento de



lodos ingresan aproximadamente 244 kg/día y un volumen total de lodos sólidos de 3,3 m³/día.

El primer paso en el tratamiento de los lodos es su concentración mediante un sedimentador por gravedad. Los espesadores por gravedad son sedimentadores equipados con barredoras de lodos, diseñados para producir un lodo más concentrado. Se debe evitar que la carga hidráulica sea excesivamente baja para prevenir condiciones sépticas, olores y/o formación de lodo flotante. Los valores típicos de carga másica para espesadores por gravedad se encuentran en la figura 15 del Anexo 3.

Los espesadores por gravedad suelen tener forma circular, con profundidades de entre 2 y 5 metros, y diámetros que varían de 3 a 30 metros, para prevenir problemas de gasificación y flotación derivados del aumento del tiempo de retención y la actividad anóxica. Dependiendo de la temperatura, el lodo primario puede permanecer en el espesador entre dos y cuatro días; sin embargo, se recomienda una retención de uno a dos días para una operación óptima (Romero Rojas, Jairo A., 2004). En espesadores de menos de 5 metros de diámetro, generalmente estáticos, la tolva suele tener una inclinación de entre 45° y 60°. En cuanto a la velocidad periférica de la barredora de lodos, esta se mantiene entre 0,08 y 0,1 m/s (Sainz Sastre, 2005).

En la tabla 33 del Anexo 3, se muestran los resultados y parámetros utilizados para el diseño del espesador de lodos.

Una parte significativa de los lodos está compuesta por materia orgánica, por lo que es fundamental estabilizarlos antes de su disposición final. Este proceso implica la dosificación de cal al lodo hasta alcanzar un pH de entre 11 y 11,5, eliminando los microorganismos patogénicos. Como resultado, se logra evitar su descomposición y obtener un lodo inerte (Sainz Sastre, 2005). El tiempo de retención antes de la deshidratación no debe ser inferior a 3 horas, garantizando así una estabilización adecuada y una desinfección efectiva. El tanque de estabilización y acondicionamiento con cal tiene un volumen de 28 m³, una altura de 3 m, un diámetro de 3,5 m y un área superficial de 9,5 m², diseñado para un tiempo de retención de un día y un margen de seguridad del 20%. Se emplea una dosis de 0,12 kg cal/kg de sólido en base seca, y se instala un agitador vertical para homogeneizar la mezcla de cal (Romero Rojas, Jairo A., 2004).

Para seguir reduciendo su peso y costo de tratamiento, se somete el lodo a un proceso de deshidratación, mediante un filtro prensa. Se selecciona el modelo FPA 150 del



proveedor Toro, en función de la capacidad máxima de torta que permite, operando en tres ciclos diarios (Anexo 3 - Figura 16).

Finalmente, el lodo seco es almacenado en contenedores de 1 m³ proporcionados por la empresa Braunco SA, encargada del tratamiento final de los lodos clasificados como residuos especiales. Estos contenedores se almacenan en una jaula de residuos especiales, cumpliendo con los decretos 806/97 y 592/00, con una frecuencia de retiro mensual.

6.8. Selección de alternativa

Para seleccionar la alternativa más adecuada para el tratamiento del efluente estudiado, se analizan a continuación en la tabla 8, tanto las variables cuantitativas evaluadas a lo largo de este capítulo como las características cualitativas específicas de cada proceso.

Tabla 8. Comparación de Alternativas del tratamiento secundario.

Parámetro	Alternativa A Lodos Activos	Alternativa B Lecho Percolador	Alternativa C MBR
Eficiencia de remoción DBO	97% DBO _{out} = 10 mg/l	83% DBO _{out} = 76 mg/l	98% DBO _{out} = 9 mg/l
Eficiencia de remoción DQO	97% DQO _{out} = 17 mg/l	83% DQO _{out} = 134 mg/l	98% DQO _{out} = 16 mg/l
Eficiencia de remoción SST	97% SST _{out} = 4 mg/l	97% SST _{out} = 4 mg/l	98% SST _{out} = 3 mg/l
Generación de lodos sólidos	6 m ³ /mes	14 m ³ /mes	2,5 m ³ /mes
Superficie requerida	22 m ²	17 m ²	5 m ²
Unidad adicional de tratamiento terciario (desinfección)	Si	Si	No
CAPEX	Medio	Medio	Alto
OPEX	Alto	Medio	Alto
Costo energético	Medio	Bajo	Alto
Remoción de nutrientes	Medio	Medio	Alto
Dependencia climática	Baja	Medio	Baja



En primer lugar, la alternativa B se destaca por su bajo costo energético ya que posee ventilación natural frente a las demás alternativas. Aún así, se descarta la alternativa correspondiente al lecho percolador, debido a que para cumplir con la normativa ambiental de vuelco es necesario adicionar otra unidad de tratamiento, pudiendo ser una opción construir dos lechos percoladores en serie. Esto incrementa los costos y la superficie requerida significativamente. Además, la remoción de nutrientes es media, la generación de lodos es más elevada que la alternativa A y C, depende del clima y requiere un tratamiento terciario de desinfección.

La alternativa C destaca por su alta calidad en el tratamiento de efluentes y su diseño compacto frente a la alternativa A, lo que los hace ideales para áreas con espacio limitado y donde la reutilización del agua es una prioridad. Sin embargo, el costo de las membranas puede hacer que los sistemas MBR resulten más caros inicialmente, aunque los costos operativos suelen ser menores. En comparación, los sistemas de lodos activos son más económicos de instalar, pero suelen implicar mayores gastos operativos. Además, los sistemas MBR consumen más energía debido a su proceso de filtración por membrana, mientras que los sistemas de lodos activos utilizan menos energía ^[22].

Por otro lado, la alternativa A requiere el mayor espacio, mientras que la alternativa C utiliza solo una cuarta parte de ese espacio, lo que resulta ventajoso, teniendo un espacio limitado. Además, la unidad de lodos activos demanda un tratamiento de desinfección, incrementando el área ocupada, a diferencia del sistema MBR, que no requiere un tratamiento terciario.

Al momento de seleccionar una opción, es crucial considerar los costos operativos, en particular los asociados al tratamiento de lodos. Siendo estos un residuo especial con un tratamiento costoso, la alternativa C se destaca por su baja generación de lodos en comparación con la alternativa A y B.

Ambas alternativas, A y C, presentan una baja dependencia de las condiciones climáticas, DBO, DQO y SST, siendo la alternativa C la más eficiente en remoción de nutrientes.

Por último, siendo uno de los principales objetivos del proyecto reutilizar el agua tratada para la limpieza de pisos, se debe cumplir con los requisitos de operación de la unidad de ultrafiltración, siendo la alternativa A y C la que cumplen con todas las especificaciones indicadas en el apartado 6.5.1. Ultrafiltración.



Finalmente, priorizando la alta eficiencia de remoción del efluente final, la eficiencia en el uso del espacio limitado y la baja generación de lodos, se selecciona la alternativa C, ya que cumple con los requerimientos técnicos y operativos del proyecto, brindando una solución sostenible que equilibra calidad, espacio y costos a largo plazo.

6.9. Sistema de conducción

6.9.1. Nivelación de unidades de tratamiento

A partir de la disposición de las unidades, se determina la cantidad de bombas, accesorios y tuberías necesarias para la planta de tratamiento de efluentes líquidos. En la figura 14 se muestra el esquema final del nivel de enterramiento de las unidades, diseñado estratégicamente para optimizar el flujo por gravedad.

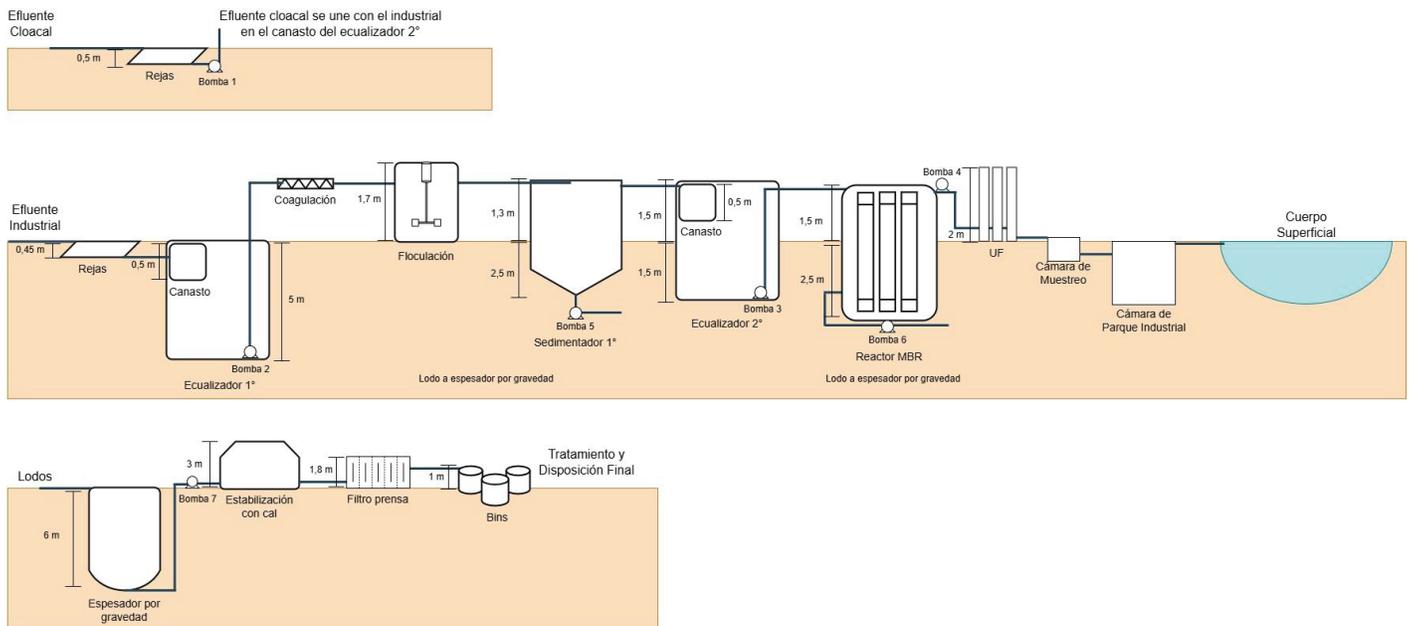


Figura 14. Esquema de niveles de enterramiento y altura de las unidades, bombas y conducción.

6.9.2. Conducción a gravedad y presión

El sistema de conducción tiene como objetivo transportar el efluente industrial, cloacal y los lodos entre las distintas unidades de la planta de tratamiento. Está compuesto por tuberías, accesorios y bombas necesarias para asegurar el flujo continuo. En el diseño, se asume que el efluente se comporta como un fluido ideal, es decir, no viscoso,



incompresible e irrotacional, con un flujo turbulento en estado estacionario a lo largo de todas las tuberías.

El rango de velocidades recomendado para las líneas de conducción de este tipo de líquido poco viscoso oscila entre 1,2 y 2,4 m/s, mientras que para el flujo por gravedad varía entre 0,15 y 0,3 m/s, con una pendiente mínima del 3% (McCabe et al., 1998).

Las tuberías seleccionadas para el sistema de conducción son de PEAD (polietileno de alta densidad) con estabilizadores UV de sección cerrada, al igual que sus accesorios. Este material ofrece alta resistencia mecánica y química, lo que garantiza su durabilidad frente a condiciones exigentes. Además, gracias a la incorporación de estabilizadores UV, mantiene su integridad estructural y propiedades físicas ante la exposición prolongada a la radiación solar, evitando el deterioro y la fragilización. Su flexibilidad y facilidad de instalación permiten una colocación eficiente y segura. Para minimizar el consumo energético, se ha priorizado el uso de tramos largos de tuberías con la menor cantidad posible de accesorios, bombas y cambios de dirección, disminuyendo así las pérdidas de carga y mejorando la eficiencia del sistema.

Se nombra cada tramo que compone el sistema de conducción, detallado en la tabla 34 del Anexo 3, indicando el inicio y el fin de cada unidad. A cada tramo se le asigna un código que lo identifica: PP para pretratamiento, P para tratamiento primario, S para tratamiento secundario, T para tratamiento terciario y L para tratamiento de lodos, y la conducción del fluido, ya sea por bombeo (B) o por gravedad (G).

La ubicación estratégica de las unidades, ya sea enterradas, semi-enterradas o en superficie, permite reducir la pérdida de carga y asegurar el flujo por gravedad en la mayoría de los tramos. El sistema incluye un total de 7 bombas para proporcionar la elevación necesaria al efluente o lodo y permitir su avance hacia la unidad siguiente. De estas bombas, 3 se destinan a la conducción de lodos generados en las unidades de sedimentación primaria, reactor MBR y el espesador por gravedad. Otra bomba se utiliza para transportar el efluente cloacal desde las rejillas finas hacia el canasto correspondiente al ecualizador secundario; y las 3 bombas restantes se implementan para bombear el efluente industrial desde el ecualizador primario hacia la unidad de coagulación-floculación, desde el ecualizador secundario al reactor MBR y desde esta unidad hacia el sistema de UF.

6.9.3. Cañerías

Para el diseño de las tuberías a gravedad, se asume que estas operan parcialmente llenas y se aplican las relaciones descritas en las ecuaciones 6.72, 6.73 y 6.74,



$$A_m = R^2(\theta - \text{sen}(\theta) * \cos(\theta)) \quad 6.72$$

$$P_m = 2 * R * \theta \quad 6.73$$

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad 6.74$$

donde A_m es el área mojada, R es el radio de la cañería, θ es el ángulo desde la superficie de la lámina hasta el centro del tubo, P_m es el perímetro mojada y R_h es el radio hidráulico.

Se adopta una relación de 0,75 entre el diámetro (D) y la altura de llenado (y), obteniendo un ángulo (θ) de 120° . Además, se aplican las relaciones geométricas para tuberías parcialmente llenas, detalladas en la figura 17 del Anexo 3, que resultan en las ecuaciones 6.75, 6.76 y 6.77,

$$A_m = 0,6319 * D^2 \quad 6.75$$

$$P_m = 2,0944 * D \quad 6.76$$

$$R_h = 0,3017 * D \quad 6.77$$

A partir de la velocidad de conducción por gravedad, se calcula el área mojada utilizando la ecuación 6.78. Con este valor, se procede a determinar el diámetro de la tubería, el radio hidráulico y el perímetro mojado para cada tramo.

$$A_m = \frac{Q}{v} \quad 6.78$$

Para verificar que la velocidad de flujo en la conducción por gravedad cumple con las recomendaciones de McCabe et al., se utiliza la ecuación de Chezy-Manning (6.79),

$$v = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * I^{1/2} \quad 6.79$$

donde v es la velocidad de flujo, n es el coeficiente de Manning (PEAD es igual a 0,01)^[67], R_h es el radio hidráulico e I es la pérdida de carga o pendiente.

El diseño de las conducciones a presión sigue un procedimiento similar al de las conducciones por gravedad, adaptado a los caudales específicos de cada tramo. Como se indica en la tabla 35 del Anexo 3, las tuberías requeridas para la conducción tanto a gravedad como por bombeo tienen diámetros internos de 60 y 110 mm. El proveedor



Tuboforte Argentina ofrece una amplia variedad de conexiones y tuberías; el modelo seleccionado tiene un diámetro nominal de 63 y 110 mm, y se encuentran en tramos de 12 m o según requiera el cliente.

6.9.4. Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga en la conducción se deben a la pérdida de energía dinámica del fluido, causada por la fricción entre las partículas del fluido y contra las paredes del conducto. Estas pérdidas pueden ser despreciables cuando el flujo es de velocidad muy baja, ya que son proporcionales al cuadrado de la velocidad del fluido. Por ello, las pérdidas de carga localizadas se desestiman en conducciones donde el flujo es por gravedad. Las pérdidas de carga se calculan utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach (6.80),

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = f * \frac{8LQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad 6.80$$

donde h_f es la pérdida de carga por fricción, f es el factor de fricción de Darcy, L es la longitud de la cañería, D es el diámetro de la cañería, v es la velocidad de escurrimiento, g es la aceleración de la gravedad y Q es el caudal.

El factor de fricción de Darcy se obtiene a partir del diagrama de Moody, que muestra la relación entre el factor de fricción, el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa de la tubería (k/D) para flujo en conductos circulares (ver figura 18 del Anexo 3). En conducciones rugosas de geometría circular, el factor de fricción se vuelve independiente del número de Reynolds cuando este supera 10^6 . En estos casos, se aplica la ecuación 6.81, que relaciona el factor de fricción con la rugosidad relativa.

$$f = 0,026 * \frac{k}{D}^{0,24} \quad 6.81$$

donde k es la rugosidad absoluta con valor de 0,0015 mm ^[68].

Mediante la ecuación 6.82, se calcula el número de Reynolds para un fluido ideal a 20°C, donde v es la velocidad del fluido en la tubería, μ es la viscosidad cinemática del fluido, cuyo valor es $1,003 \times 10^{-6}$ kg/m*s, y ρ es la densidad del fluido con valor de 998,29 kg/m³.

$$Re = \frac{D*v*\rho}{\mu} \quad 6.82$$



Finalmente, utilizando la ecuación 6.82, se obtiene la pérdida de carga de los accesorios presentes en cada tramo. En esta ecuación, $h_{f\text{ acc}}$ es la pérdida de carga en accesorios y K_{acc} es la constante del accesorio.

$$h_{f\text{ acc}} = K_{\text{acc}} * \frac{v^2}{2g} \quad 6.82$$

En la tabla 36 del Anexo 3 se muestran los parámetros y valores de cada accesorio pertenecientes a cada tramo. En la tabla 37 del Anexo 3, se presentan los accesorios de cada tramo con sus respectivas constantes.

6.9.5. Sistema de bombeo

Las bombas tienen como objetivo incrementar la velocidad, la presión o la elevación de los fluidos, mediante el aumento de la energía mecánica al incrementar la velocidad de rotación, lo que transforma la energía cinética en energía de presión. Para calcular la carga que debe desarrollar la bomba, se utiliza la ecuación de Bernoulli, expresada en la ecuación 6.83,

$$\frac{\eta W_p}{g} = \left(\frac{P_1}{g\rho} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_2}{g\rho} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right) + h_f \quad 6.83$$

donde η es la eficiencia de la bomba, W_p es el trabajo desarrollado por la bomba, g es la aceleración de la gravedad, P es la presión, ρ es la densidad del fluido, Z es la carga estática, v es la velocidad del fluido y h_f es la carga dinámica.

Se considera que el fluido ingresa a la bomba por una conexión de succión, denominada punto 1, y egresa por una conexión de descarga, llamada punto 2. En el caso de una bomba de carga positiva ubicada a la altura del punto de descarga del efluente, se asume que la diferencia de velocidades y presiones puede despreciarse, por lo que se tiene que $v_1=v_2=0$ y $p_1=p_2=p_{\text{atmosférica}}$, entre los puntos mencionados. En consecuencia, la suma de la carga estática total (ΔZ) y la carga dinámica (h_f) es igual al trabajo realizado por la bomba.

La carga estática total se calcula como la diferencia entre la altura del punto de descarga y la altura del punto de succión de cada bomba. La potencia requerida para cada bomba se determina mediante la ecuación 6.84, donde P es la potencia de la bomba, Q es el caudal y H es la altura de la bomba; además, se adopta una eficiencia (η) del 50%. En la tabla 9 se detallan los requerimientos de las bombas.

$$P = \frac{\rho * Q * g * H}{\eta} \quad 6.84$$



Tabla 9. Requerimiento de las bombas en el sistema de conducción.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor						
			B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Altura desarrollada	ΔZ	m	3	6,7	3	4	4	4	9
Caudal	Q	m ³ /s	3E-4	1,1E-3	1,4E-3	1,4E-3	1E-5	2E-5	3E-4
Potencia	P	W	20,4	149,3	83,2	110,9	0,9	1,5	48,5

Se selecciona la bomba modelo SL1.50.65.22.EX.2.50D.C de la marca Grundfos, adecuada para el transporte de aguas residuales industriales. Esta bomba desarrolla una altura de hasta 10 m y opera dentro de un rango de potencia de 1,1 a 11 kW, con una eficiencia del 50%, según la ficha técnica proporcionada por el proveedor, que se detalla en la figura 19 del Anexo 3.

Además, el mismo proveedor suministra una bomba dosificadora digital para reactivos químicos, modelo DDA 7.5-16, destinada a la adición de coagulantes y floculantes. Su ficha técnica se encuentra en la figura 20 del Anexo 3.

6.10. Monitorización y control

Para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente del tratamiento de efluentes, es necesario implementar un proceso de control que incluya el seguimiento y monitoreo automatizado de las unidades que componen el sistema. Se destina un área de 15 m² para el centro de control, que opera mediante un sistema SCADA. Este sistema permite controlar, supervisar, recopilar datos y generar informes de manera remota a través de una aplicación informática.

Gracias a este sistema, es posible obtener en tiempo real diversos parámetros de funcionamiento, así como conocer el estado operativo de los equipos. Entre los parámetros que se pueden monitorear a través del software se incluyen los siguientes (Don Víctor Daniel Gen Cáceres, 2013):

- Nivel de entrada del efluente
- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto
- Presión transmembrana
- Caudal bombas de filtrado



- Caudal de aire del MBR
- Nivel Biológico
- Presión de succión
- Apertura de válvula
- Caudal de Recirculación
- Caudal de fangos
- Nivel de fangos en el espesador
- Nivel de fangos en la tolva

Estos datos pueden ser exportados a hojas de Excel para su posterior análisis, lo que permite al personal detectar fallas, realizar ajustes y, en consecuencia, reducir los costos operativos.

En cuanto a las distintas etapas del tratamiento, los parámetros y aspectos a considerar se describen a continuación. En la etapa de pretratamiento, las unidades requieren un mantenimiento preventivo periódico. El principal problema en esta etapa está relacionado con el taponamiento de las rejillas automatizadas y el canasto, lo que puede causar fallas electromecánicas debido al bloqueo de los rastrillos o a la obstrucción que fuerza el motor. Tanto el canasto como las rejillas deben ser inspeccionados diariamente para verificar su estado de taponamiento, además de recibir una limpieza periódica.

En el tratamiento primario, es necesario realizar controles de dosificación de químicos en la unidad de coagulación y floculación para asegurar la eliminación eficiente de los contaminantes, mediante la formación de flóculos de alta calidad. Esto implica realizar análisis de Jar Test en diferentes muestras del efluente para determinar la dosis óptima y realizar ajustes siempre que se requiera.

En el tratamiento secundario mediante MBR, el principal desafío es el ensuciamiento de las membranas, lo que provoca una disminución del flujo permeado y un aumento de la presión transmembrana (PTM) de operación. Este ensuciamiento requiere de procesos de limpieza regulares. En este sentido, los MBR sumergidos presentan ventajas sobre los de configuración externa, ya que requieren menos mantenimiento. Además, los reactores de membranas sumergidas están diseñados para aprovechar la aireación, generando un efecto de limpieza constante durante la operación, lo que permite prolongar los períodos entre paradas para mantenimiento y limpieza. Además, al ser membranas sumergidas, el rango de PTM es menor que en los reactores con configuración externa, permitiendo operar en un rango de presión de aproximadamente 0,05 a 0,5 bares. Esta menor presión de operación



no solo contribuye a una reducción de los costos operativos, sino que también reduce el estrés mecánico sobre las membranas, lo que incrementa su vida útil ^[29].

Para la implementación segura de la reutilización de agua en la limpieza de pisos, es esencial cumplir con los límites establecidos por los organismos internacionales como la EPA y la OMS, a fin de proteger la salud humana y el ambiente. Es por esto, que se requiere de un monitoreo estricto de medición de coliformes totales y E. coli, con el fin de establecer la salud del personal a cargo de la limpieza de pisos ^{[71][72]}.

Con el fin de reducir la velocidad de ensuciamiento de las membranas y, por ende, extender su vida operativa, se implementan diversos procesos de limpieza periódica, que varían en frecuencia y objetivo:

- Limpieza con aire: Aprovechando la necesidad de aportar oxígeno al reactor, este proceso genera una turbulencia en la superficie filtrante externa de las membranas, lo que contribuye a reducir la velocidad de ensuciamiento.
- Retrolavado: Consiste en invertir el flujo de filtración, eliminando la capa externa de ensuciamiento y parte de las partículas que se han acumulado en los poros de las membranas.
- Limpieza química: De manera periódica, es necesario realizar una limpieza química para restaurar el estado casi inicial de las membranas. Este proceso se lleva a cabo principalmente utilizando hipoclorito de sodio, tanto para membranas planas como para aquellas de fibras huecas y para incrustaciones orgánicas; y el ácido cítrico para depósitos inorgánicos.

Para garantizar un funcionamiento adecuado, es fundamental monitorear la relación F/M, la DBO, la DQO, el oxígeno disuelto y la relación C/N/P de 100/5/1, que es clave para cubrir las necesidades nutricionales de los microorganismos. Además, se debe realizar un seguimiento continuo del tipo de microorganismos presentes, lo que permite determinar la edad del lodo. El índice volumétrico de lodos (IVL) es crucial para evaluar la capacidad de los lodos para decantar en el sedimentador.

Asimismo, se deben realizar monitoreos quincenales de los parámetros de vuelco para asegurar la calidad del vertido en el cuerpo de agua superficial y la reutilización del agua para uso no potable en limpieza de suelos.



6.11. Laboratorio

Con el objetivo de garantizar un proceso eficiente y cumplir con los parámetros de vuelco establecidos por la normativa de ADA, se decide incorporar un laboratorio ambiental de aproximadamente 20 m². En este laboratorio se realizan análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del efluente, tanto en su ingreso como en su egreso de la planta de tratamiento, así como en las unidades que requieran monitoreo de la calidad del efluente. El laboratorio estará equipado con los equipos e insumos necesarios para medir diversos parámetros, tales como DQO, DBO, SST, OD, SSEE, coliformes totales y E. coli, siendo las etapas críticas de medición a la salida del sistema de UF, en el sedimentador primario y en el reactor MBR.

7. Capítulo 7: Cómputo y presupuestos

En este capítulo se presenta el cálculo y presupuesto relacionados con la inversión inicial (CAPEX) y los costos de mantenimiento y operación (OPEX) de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la industria automotriz de vidrio de seguridad. Estos valores son fundamentales para evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Adicionalmente, se analizará la alternativa de tercerizar el tratamiento de efluentes líquidos industriales como parte del estudio de factibilidad económica, considerando que el cumplimiento de los parámetros de vuelco a cuerpos superficiales es una exigencia normativa.

Finalmente, cabe mencionar que este capítulo corresponde a un estudio económico preliminar, por lo que los costos estimados podrían variar al momento de llevar a cabo la implementación del proyecto.

7.1. CAPEX

El CAPEX (Capital Expenditures) representa la inversión inicial en bienes de capital, abarcando los costos directos e indirectos necesarios para la construcción de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Dentro de los costos indirectos se incluyen actividades preliminares como estudios de suelos, elaboración de documentación técnica, obtención de permisos, entre otros. Por su parte, los costos directos comprenden tareas como el movimiento de suelos, adquisición de materiales, construcción de infraestructura, instalación de sistemas de cañerías, entre otros.



En la tabla 38 del Anexo 4 se detallan los costos asociados al proyecto, con un monto total estimado en US\$288.866 al 29 de noviembre de 2024, considerando un tipo de cambio oficial de US\$1=\$1.030. Los valores de los equipos y servicios fueron obtenidos mediante consultas a proveedores, así como mediante información de páginas web y empresas especializadas. Cabe destacar que los mayores costos están relacionados con la infraestructura de la planta de tratamiento de efluentes líquidos (PTEL).

Se destaca que el valor final incluye la AIU (Administración, Imprevistos y Utilidad), un fondo de respaldo destinado a cubrir posibles gastos imprevistos durante la puesta en marcha del proyecto. Este concepto corresponde al 25% del valor total, determinado en función de la complejidad de la obra.

7.2. OPEX

El OPEX (Operational Expenditures) se refiere a los costos operativos y de mantenimiento asociados al funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, incluyendo gastos como el consumo eléctrico, compra de insumos, tratamiento de lodos, mano de obra, entre otros.

Para calcular los costos relacionados con el uso de insumos químicos, primero se determina la cantidad diaria requerida. En el proceso de coagulación, se aplica una dosis de 20 mg/l de sulfato de aluminio para un caudal de 98 m³/d correspondiente al efluente industrial, resultando en un consumo diario de 2 kg de sulfato de aluminio. En la floculación, se utiliza una dosis de 5 mg/l de ARIFLOC C606, con un tiempo de residencia de 30 minutos para el mismo caudal, lo que equivale a 0,5 kg/d de este producto. Adicionalmente, en el tanque de estabilización para el tratamiento de lodos se requiere dosificar cal. Considerando una dosis de 0,12 kg de cal/kg de sólido en base seca y una masa de lodos de 244 kg/d, el consumo estimado es de 29 kg/d de cal. Además, es necesario medir diariamente los siguientes parámetros en el efluente: demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, pH, oxígeno disuelto, sustancias solubles en éter etílico y sólidos suspendidos totales en el laboratorio.

También se estimó el consumo eléctrico de la planta, considerando un costo de US\$1.589 por kWh. Los detalles del consumo energético de los equipos instalados se presentan en la tabla 39 del Anexo 4.

Por otra parte, se incluyen los costos de mantenimiento e imprevistos, con el objetivo de garantizar un respaldo económico para cubrir tareas como mantenimiento de equipos,



reposición de insumos y materiales de laboratorio, revisiones generales de planta y posibles situaciones inesperadas. La reserva económica para mantenimiento corresponde al 15% del OPEX, mientras que los imprevistos representan un 5% del mismo.

En la tabla 40 del Anexo 4 se detalla el total de los costos de operación, mantenimiento e imprevistos, los cuales ascienden a US\$17.110 al 29 de noviembre de 2024, con un tipo de cambio oficial de US\$1=\$1.030. Los valores fueron obtenidos mediante consultas a proveedores, páginas web y empresas especializadas. Es importante señalar que los costos más significativos corresponden a la mano de obra de la planta de tratamiento de efluentes líquidos (PTEL).

7.3. Evaluación de tratamiento tercerizado

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se analiza el costo de tercerizar el tratamiento del efluente líquido, dado que su disposición final adecuada según su naturaleza fisicoquímica es obligatoria. Este efluente líquido, clasificado como corriente Y9 según la Ley N° 24.051, tiene un costo de tratamiento de US\$6,5 por m³, equivalente a US\$22.464 por mes. Al sumar el valor del traslado de los desechos líquidos por día de US\$1.000, el costo mensual total asciende a US\$46.464 al 29 de noviembre de 2024, considerando un tipo de cambio oficial de US\$1=\$1.030.

7.4. Viabilidad económica del proyecto

Finalmente, observando que la tercerización implica un gasto constante mensual alto, sin generación de autonomía ni el beneficio de reutilización del agua para limpieza, un recurso limitado, podemos decir que resulta inviable a largo plazo. Por otro lado, la construcción de la PTEL requiere de un desembolso inicial significativo, pero los costos mensuales posteriores son menores, lo que genera un ahorro mensual de US\$28.617 durante la PTEL en funcionamiento, teniendo en cuenta que el tratamiento tercerizado mensual sin PTEL equivale a US\$46.464 y el OPEX mensual equivale a US\$17.110. Esto genera que la inversión se recupere al año, generando un ahorro en el mediano plazo. Por esta razón, se considera viable económicamente la construcción y operación de la PTEL. Es importante mencionar que el análisis económico no contempla la inflación futura que pueda ocurrir, ni el ahorro por la recuperación de agua.



8. Capítulo 8: Estudio de impacto ambiental

8.1. Descripción del proyecto

El presente Estudio de Impacto Ambiental (EslA) se desarrolla para el proyecto de construcción, operación y cierre de una planta destinada al tratamiento de efluentes líquidos provenientes de la industria de vidrios de seguridad automotriz, ubicada en el partido de Zárate, provincia de Buenos Aires, Argentina.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el procedimiento obligatorio que permite identificar, predecir, evaluar y mitigar los posibles impactos que una obra y/o actividad pueda generar en el ambiente, considerando corto, mediano y largo plazo. Este instrumento técnico-administrativo es de carácter preventivo y debe ser aplicado antes de tomar decisiones sobre la ejecución del proyecto. Su marco normativo se encuentra en la Ley 25.675 (Ley General del Ambiente), que establece su rol en la toma de decisiones informadas por parte de la autoridad ambiental competente respecto a la viabilidad ambiental y gestión del proyecto. La autoridad se pronuncia mediante la emisión de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Certificado de Aptitud Ambiental (CAA) ^{[37][38]}.

El EslA, como documento técnico central de este proyecto, incluye una descripción detallada del proyecto, el análisis de la línea de base ambiental y social que delimita las condiciones actuales del área de influencia, y el marco legal aplicable (tabla 1 del Anexo 1). También contempla la identificación y evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos en distintos plazos, y la planificación de medidas concretas para prevenir, mitigar y controlar los impactos identificados. Estas medidas se articulan en el Plan de Gestión Ambiental (PGA), que es esencial para garantizar la adecuada gestión de los aspectos ambientales asociados al proyecto ^[39].

8.1.1. Introducción

El Estudio de Impacto Ambiental (EslA) se inicia con la recopilación y el análisis exhaustivo de toda la información documental disponible, incluyendo informes geológicos, cartografía y datos relacionados con la actividad a evaluar. En una primera instancia, se analiza la bibliografía existente para obtener un conocimiento preliminar sobre las características del área de estudio. Las áreas que presentan sensibilidad especial se investigan en profundidad mediante tareas de campo.



La línea de base se establece a través del análisis de documentación previa, que abarca información sobre el dominio geográfico donde se desarrolla el proyecto, las geoformas y la categorización del ambiente. Esto permite identificar los procesos que actúan en la zona y evaluar el grado de incidencia de las actividades proyectadas sobre el entorno.

El análisis considera los factores del medio susceptibles de recibir impactos, tales como los elementos biológicos, paisajísticos, relacionados con el uso del suelo, la infraestructura, los servicios, así como los aspectos sociales y económicos. Se identifican los elementos y acciones del proyecto que podrían generar impactos, estableciendo parámetros de medición y relaciones causa-efecto. A partir de la información recopilada, se elabora una matriz que relaciona las acciones del proyecto con los factores ambientales afectados. Según la magnitud de los impactos identificados, se proponen medidas de mitigación, recomendando su inclusión en el plan de gestión ambiental.

El área geográfica que podría verse afectada por el proyecto, ya sea de forma positiva o negativa, se denomina "área de influencia" y se divide en dos categorías: directa e indirecta. El área de influencia directa comprende el espacio ocupado por el proyecto y sus instalaciones, donde se ejercen impactos ambientales directos. Por otro lado, el área de influencia indirecta incluye las zonas donde se prevén efectos derivados de los impactos directos. En este caso, el área de influencia directa incluye la planta productiva, la instalación de tratamiento de efluentes, la infraestructura asociada y el punto de vertido del efluente tratado en el Río Paraná de las Palmas.

Finalmente, en la tabla 1 del Anexo 1 se detalla el marco legal y normativo aplicable al proyecto, abarcando regulaciones supranacionales, nacionales, provinciales y municipales.

8.1.2. Objetivo

El Estudio de Impacto Ambiental (EslA) tiene como objetivo evaluar la incidencia del proyecto de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL) de la industria sobre el medio natural y sociocultural durante las etapas de construcción, operación y cierre. El propósito es anticipar posibles impactos potenciales y desarrollar un plan de acción que incluya medidas de mitigación, restauración y/o compensación, garantizando así la ejecución segura y sostenible del proyecto.



8.1.3. Alcance

El Estudio de Impacto Ambiental (EslA) establece la viabilidad del proyecto a través de tres fases clave: construcción, operación y cierre. En estas etapas, se analizan los aspectos e impactos ambientales, se identifica el área de influencia, se realiza un análisis de sensibilidad ambiental, se desarrolla la línea de base ambiental, se evalúa la normativa aplicable y se proponen medidas de mitigación, utilizando métodos y herramientas específicas de evaluación.

Asimismo, el EslA identifica los riesgos potenciales asociados a las características del proyecto y diseña un Plan de Gestión Ambiental orientado a prevenir, mitigar y/o remediar los impactos ambientales detectados.

8.1.4. Localización

El Partido de Zárate, ubicado en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, abarca más de 1.200 km² dentro del Corredor del Río Paraná (figura 15). Limita al noreste con el Río Paraná Guazú, al sureste con el Partido de Campana, y con Exaltación de la Cruz, San Antonio de Areco y Baradero en otras direcciones. Su población es de 110.000 habitantes aproximadamente, y comprende la ciudad de Zárate junto con localidades como Lima, Escalada, e islas como Talavera y Botija ^[36].

Declarada ciudad en 1909, Zárate se destaca como un polo industrial clave en Argentina. Empresas de renombre como Toyota, Quilmes y Petrobras operan en la región, impulsadas por su ubicación estratégica y excelentes conexiones terrestres y fluviales. El carácter industrial de Zárate también se ve fortalecido por una cultura portuaria activa y una diversidad de servicios y recursos humanos, incluyendo una sólida base de PyMEs que contribuyen al crecimiento económico local. Además, cuenta con instalaciones portuarias en el margen derecho del Río Paraná de las Palmas, fundamentales para el comercio y la logística ^[36].

En términos de infraestructura, Zárate dispone de una red vial estratégica con rutas nacionales y provinciales de gran importancia, como la Ruta Nacional 9, la Ruta Provincial 6 y la Ruta Nacional 12, que facilitan el transporte de carga y de pasajeros. También, está conectada con la Ruta Nacional 193, que vincula con Exaltación de la Cruz, y con el Complejo Zárate-Brazo Largo, conocido como Complejo Unión Nacional. Este último es un corredor esencial para la conexión con la Región Mesopotámica argentina, así como con



Uruguay, Paraguay y Brasil, consolidando a Zárate como un nodo clave en el comercio regional ^[36].



Figura 15. Localización del partido de Zárate.

8.2. Etapas del proyecto

8.2.1. Etapa de construcción

La fase de construcción de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL), con una duración estimada de 10 meses, comprende el desarrollo de la obra civil y se fundamenta en la experiencia obtenida de profesionales de la empresa.

Durante esta etapa, se llevan a cabo diversas actividades, iniciando con la limpieza y nivelación del terreno para garantizar condiciones óptimas para la construcción. Posteriormente, se realiza el abastecimiento de materiales necesarios para comenzar con las infraestructuras, que incluyen las unidades de tratamiento, oficina administrativa, sala de control, laboratorio ambiental y el camino interno que facilitará el acceso a las distintas áreas.

A continuación, se procede con la excavación de zanjas y al mismo tiempo se realiza la instalación del equipamiento técnico en cada unidad de tratamiento. Además, se efectúa



la instalación de las redes de cañerías y accesorios hidráulicos necesarios para la conducción del efluente, así como de agua tratada y lodos residuales.

En paralelo, se instala el sistema de energía eléctrica, considerando la integración de equipos automatizados con posibles fuentes de energía renovable. Posteriormente, se lleva a cabo el trabajo de carpintería y acabados finales, los cuales incluyen pintura, cerramientos y adecuación de los espacios según normas de seguridad industrial.

Una vez completada la construcción, se realiza el retiro de materiales, maquinarias, el desmantelamiento de construcciones temporales y del obrador. Esta etapa incluye la inspección de la obra para verificar el cumplimiento de los estándares de calidad y normativas vigentes, asegurando así la funcionalidad y sostenibilidad de la planta a largo plazo.

Por último, es importante que la planificación y ejecución de esta etapa sea coordinada de forma estricta entre las áreas de ingeniería, proveedores y contratistas, así como la supervisión para garantizar el cumplimiento de los plazos y la minimización del impacto ambiental durante el proceso constructivo.

8.2.2. Etapa de operación

La etapa de operación, con una duración estimada de 35 años, comprende todas las actividades necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, como el mantenimiento general de los equipos y la infraestructura de cada proceso unitario.

Como se detalla en capítulos anteriores, la PTEL está diseñada para realizar una serie de tratamientos secuenciales:

- El pretratamiento incluye un sistema de rejillas automáticas finas, aplicado tanto para la línea del efluente industrial como para el cloacal, seguido de un canasto para ambas líneas del efluente y un ecualizador primario para el efluente industrial.
- El tratamiento primario consta de un coagulador estático, una cámara de floculación y un sedimentador para la separación de flóculos.
- El tratamiento secundario combina un ecualizador secundario que unifica las corrientes cloacal e industrial, seguido por un biorreactor de membrana (MBR) y un sistema de ultrafiltración. Este último también cumple funciones de desinfección, ya que al tener poros de 0,01 micrones permiten retener virus, pirógenos y bacterias.



- Previo al vuelco en el Río Paraná de las Palmas, el efluente tratado pasa por una cámara de toma de muestras y medición de caudal.
- El tratamiento de lodos incluye un espesador por gravedad, un tanque de estabilización con cal, un filtro prensa y la disposición final en bins de almacenamiento hasta su retiro por un transportista habilitado.

Además, durante la etapa de operación, se implementan actividades clave como:

- Capacitaciones periódicas para el personal operativo, incluyendo protocolos de respuesta a emergencias y manejo de derrames.
- Monitoreo ambiental con una frecuencia definida para asegurar la calidad del efluente vertido, en cumplimiento de la normativa vigente.
- Programas de mantenimiento para cada unidad de tratamiento y del sistema de conducción.
- Gestión documental que permita registrar, auditar y garantizar la trazabilidad de las actividades operativas.

8.2.3. Etapa de cierre

Cuando la PTEL alcanza el final de su vida útil, inicia la fase de cierre, un proceso crítico que tiene como objetivo garantizar el desmantelamiento adecuado de las instalaciones y la mitigación de impactos ambientales. Esta etapa tiene una duración estimada de un año y se divide en varias actividades clave que deben ser planificadas cuidadosamente.

El primer paso es llevar a cabo el desmantelamiento de los equipos, estructuras y tuberías de conducción, junto con sus accesorios. Se debe elaborar un inventario que clasifica los materiales a descartar según su estado para definir su destino final:

- Reutilización o donación, como equipos y materiales que aún tienen utilidad funcional.
- Los residuos especiales son aquellos elementos que contengan grasas, aceites, combustibles u otras sustancias peligrosas, según normativa. Estos tienen como destino final la termodestrucción.
- Los residuos generales, aquellos no peligrosos, se trasladan a rellenos sanitarios autorizados.
- Aquellos residuos clasificados como reciclables tienen como destino final una sede de reciclaje.



Se procede a la demolición de los cimientos, paredes y otras infraestructuras, incluyendo el sellado y relleno de pozos, fosas y estructuras temporales. Los escombros generados durante esta actividad son transportados a una planta de tratamiento de residuos áridos o en su defecto a disposición final.

Una vez despejado el predio, se inicia la reconfiguración paisajística. Esto incluye una restauración del suelo donde se aplica una capa de suelo adecuada, utilizando material orgánico. La revegetalización promueve el crecimiento de especies nativas para restaurar la biodiversidad local y estabilizar el suelo. Por último, también se incluye el monitoreo continuo de los impactos en el sitio, mediante un control de calidad del suelo y del agua subterránea para identificar posibles contaminaciones.

El enfoque en la sostenibilidad y la restauración del entorno durante esta etapa no solo minimiza los impactos ambientales, sino que también permite reintegrar el área al entorno natural o adaptarla para nuevos usos con potencial beneficioso para la comunidad y el medio ambiente.

8.3. Línea de base ambiental

8.3.1. Medio físico

8.3.1.1. Geomorfología

El noreste de la provincia de Buenos Aires, donde se encuentra la zona de estudio, presenta un relieve de llanura con pendientes suaves hacia el sistema Paraná, de La Plata y el río Salado. Se distinguen dos grandes ambientes: la pampa baja y la pampa deprimida, siendo la primera el foco del estudio. La pampa baja incluye cuencas fluviales que desembocan en los ríos Paraná y de La Plata, destacando el Arroyo de la Cruz, el Arroyo Pesquería y el Río Luján (Frenguelli, 1956).

En la pampa baja, el paisaje se caracteriza por pendientes largas (700 a 1500 m) y suaves (2,5%), con formas dominadas por valles fluviales desarrollados en depósitos eológicos. Las redes de drenaje, orientadas hacia el sureste, presentan cauces anastomosados o meandrosos y patrones tributarios rectangulares o dendríticos.

Este territorio ondulado incluye geformas como barrancas, terrazas fluviales y zonas bajas o bañados, visibles en los cursos del Arroyo Carabassa y el Río Luján. El loess pampeano, junto con el clima y el relieve, origina suelos zonales característicos de la región.



Además, se identifican dos geoformas menores: la terraza alta, más extensa y con mayores pendientes; y la terraza baja, restringida al litoral del estuario del Plata y las planicies de inundación, con alturas inferiores a 10 metros sobre el nivel del suelo, según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) ^[47].

8.3.1.2. Edafología

Según el mapa elaborado por SAGPyA-INTA (R. Godagnone, 2008) predominan los suelos tipo molisoles, pertenecientes a los grandes grupos Argiudoles y Natracuoles. Estos suelos poseen una aptitud agrícola que varía entre el 60% y el 95% (figura 16). Según los mapeos locales del INTA, el principal grupo de suelos en Zárate corresponde a la Serie Solís (Ss). Estas tierras, de color oscuro, se encuentran en planicies suavemente inclinadas con pendientes de entre 0% y 0,5%. Son suelos franco-limosos, bien drenados, y no presentan características alcalinas ni salinas, lo que los hace especialmente adecuados para actividades agrícolas diversificadas.

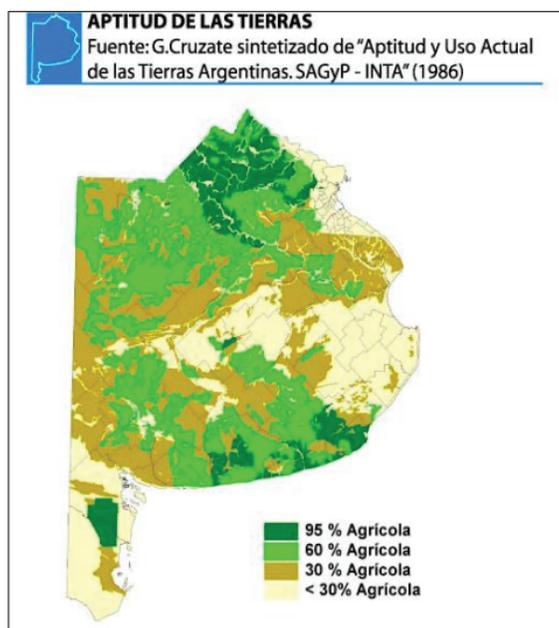


Figura 16. Mapa de aptitud de uso del suelo de la provincia de Buenos Aires. Fuente: INTA.

La edafología de Zárate, Buenos Aires, está estrechamente relacionada con la geomorfología de la región y la influencia de agentes transformadores como el viento y el agua. Se distinguen dos grandes tipos de suelos según su origen: eólico y fluvial ^[48]. Los suelos de origen eólico formados por la acción del viento, son bien drenados y presentan una elevada riqueza en materia orgánica y nutrientes, lo que, combinado con un relieve predominantemente llano y un clima favorable, les otorga un alto potencial agrícola. Su



estructura y fertilidad han sido determinantes para el desarrollo económico de la región, especialmente en actividades agrícolas intensivas. En cambio, los suelos de origen fluvial están formados a partir de la deposición de sedimentos transportados por ríos y arroyos, suelen ubicarse en áreas bajas y son propensos a inundaciones periódicas. Este fenómeno puede provocar procesos de salinización en los valles, reduciendo temporalmente su aptitud agrícola. No obstante, estos suelos son esenciales para la dinámica ecológica de humedales y otras áreas ribereñas (Andrade, 1986).

8.3.1.3. Sismología

Según los estudios del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), la zona de estudio se clasifica como de riesgo 0 (cero), con una peligrosidad sísmica muy reducida (figura 17) y una aceleración máxima del suelo de 0,04 g. El último evento sísmico registrado en la región tuvo su epicentro en Esteban Echeverría, el 30 de noviembre de 2018, a una profundidad aproximada de 25 km y con una magnitud de 3,8 en la escala de Richter, a unos 120 km de Zárate ^[46].

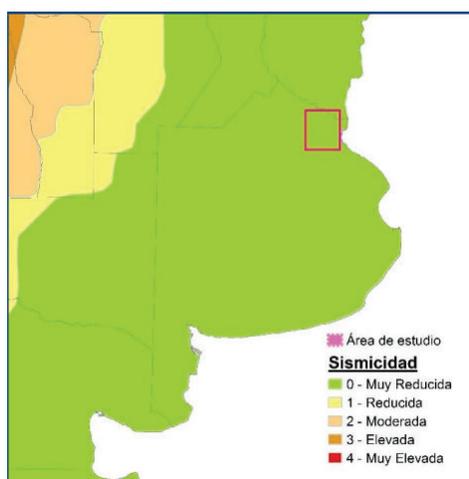


Figura 17. Sismicidad del área de estudio en color rojo. Fuente: INPRES.

8.3.1.4. Hidrología

8.3.1.4.1. Superficial

Desde el punto de vista hidrológico, la región presenta un comportamiento diferenciado según las posiciones topográficas, dividiéndose en dos subregiones principales:



- La Subregión Elevada se desarrolla sobre depósitos de limos loessoides y loess que datan del Mioceno, modelados por la erosión de cauces que drenan hacia el río Paraná. Su geomorfología característica, conocida como Pampa Ondulada, presenta ondulaciones que favorecen la existencia de una eficiente red de drenaje natural. Esta red, compuesta por numerosas cuencas o sistemas hídricos típicos, permite un rápido desagüe de los excesos hídricos gracias a una pendiente media de aproximadamente 1 metro cada 2 kilómetros (0,05%). Los sistemas de drenaje se extienden desde el Arroyo del Medio, que marca el límite entre las provincias de Santa Fe y Buenos Aires, hacia el sudeste.
- En contraste, la Subregión Baja está sometida a inundaciones periódicas debido a las crecidas del río Paraná. Las inundaciones vinculadas al régimen natural del río suelen ocurrir durante el verano y el otoño, como la extraordinaria crecida de 1983, que anegó vastas áreas por varios meses. Además, las sudestadas, causadas por vientos del sureste, agravan el comportamiento hídrico al impedir el normal drenaje de las aguas del Estuario del Río de la Plata. Este fenómeno dificulta el desagüe de los ríos Paraná y Uruguay, cuyos caudales medios son de 15.500 m³/s y 3.990 m³/s, respectivamente, lo que eleva los niveles de agua y genera inundaciones tanto en la Subregión Baja como en el delta del Paraná. Las máximas crecidas por sudestadas suelen ocurrir entre abril y junio, con efectos de anegamiento que persisten hasta que el suelo recupera su capacidad de infiltración.

En cuanto a la calidad del agua, no se dispone de información pública específica sobre el Arroyo Las Palmas en Zárate. Sin embargo, en la región se han reportado problemas relacionados con el suministro y la calidad del agua potable. En particular, los vecinos de Zárate han manifestado preocupación por la presencia de sarro en el agua, atribuida a altas concentraciones de carbonato de calcio y magnesio, características de un agua "dura". Aunque las autoridades locales han asegurado que esta condición no es perjudicial para la salud, afecta la percepción de calidad del recurso ^[56].

El Comité Interindustrial para la Conservación del Ambiente Campana-Zárate (CICACZ) realiza monitoreos regulares de la calidad del agua en el curso del Río Paraná de las Palmas, en Campana y Zárate. Estas tareas son llevadas a cabo por laboratorios habilitados, quienes analizan los parámetros contemplados en el Decreto 831/93, reglamentario de la Ley Nacional 24.051 sobre residuos peligrosos, así como en la Resolución 336/03 de la Provincia de Buenos Aires ^[58].

Los estudios realizados en septiembre de 2024 indicaron que la calidad del agua en general se mantiene dentro de los estándares establecidos para la protección de la vida



acuática. Los resultados específicos, que incluyen mediciones detalladas de los analitos, se encuentran disponibles en la figura 21 del Anexo 5.

8.3.1.4.2. Subterránea

La hidrogeología de la región se conoce a partir de diversas perforaciones realizadas en localidades como San Andrés de Giles, San Antonio de Areco, Baradero, Zárate y Mercedes. Algunas de estas exploraciones atravesaron la Formación Puelche y alcanzaron la Formación Paraná, también conocida como "El Verde" (EASNE, 1972). Se identifican tres principales subacuíferos o unidades hidrogeológicas que se apoyan sobre el basamento impermeable:

- Hipopuelches (inferior). Este acuífero contiene aguas salobres a salinas, con concentraciones de 3.000 mg/l a más de 10.000 mg/l. Su estudio es limitado debido a la escasez de perforaciones que alcanzan este nivel.
- Puelches (intermedio). En San Antonio de Areco, el sondeo en el frigorífico "Don Segundo" y la perforación en la Estancia "El Centinela" determinaron que sus aguas, de baja salinidad, son aptas para consumo humano, generalmente con concentraciones menores a 2.000 mg/l. Sin embargo, la salinidad aumenta hacia las zonas de descarga. Estudios llevados a cabo por el Instituto Nacional del Agua, han determinado una profundidad promedio en la zona de entre -36 y -67 metros.
- Epipuelches (superior). Corresponde al acuífero freático y al Pampeano semilibre, alojados en los sedimentos pampeanos y, ocasionalmente, postpampeanos. La recarga se produce en toda la región, incrementándose hacia los interfluvios. La mayoría de los cursos de agua, tanto permanentes como transitorios, tienen carácter efluente, es decir, reciben agua del acuífero Epipuelche en lugar de recargarlo. El acuífero freático y el semilibre Pampeano ofrecen, en general, aguas de buena calidad y baja salinidad (500-2.000 mg/l), aunque en los valles inferiores de los principales ríos y arroyos, como el río Areco, la salinidad puede superar los 10.000 mg/l.

La recarga del acuífero freático es directa y autóctona, derivada de excedentes hídricos. En el caso del subacuífero Puelches, la recarga es indirecta, produciéndose por filtración vertical desde la unidad superior a través del acuitardo, especialmente en áreas con nivel piezométrico negativo. La descarga regional del sistema se dirige hacia la ribera del río Paraná, mientras que la descarga local fluye hacia los cursos de agua superficiales con comportamiento efluente, como los ríos Areco y Arrecifes.



Según lo informado en el “Plan Estratégico de Agua y Saneamiento de la Provincia de Buenos Aires”, en la región Noreste existe el conflicto entre el uso agrícola y el uso público del agua, como consecuencia del riego intensivo. Por eso, a menudo al considerar la aptitud del recurso subterráneo como fuente de agua segura en esta región requiere considerar su uso combinado con el recurso superficial que aportan los ríos Paraná y de La Plata.

Además, la sobreexplotación del acuífero Puelche, fuente principal de agua en la zona, ha llevado a considerar la construcción de una planta potabilizadora que tome agua del Río Paraná de Las Palmas. Sin embargo, este río ha mostrado niveles de contaminación preocupantes, incluyendo la presencia de plaguicidas, lo que plantea desafíos adicionales para garantizar un suministro de agua de calidad ^[57].

8.3.1.5. Calidad del aire

La calidad del aire en el partido de Zárate es monitoreada por IQAir, que proporciona datos actualizados diariamente sobre el Índice de Calidad del Aire (ICA) y la concentración de material particulado fino (PM_{2,5}). Estos valores se presentan gráficamente en un mapa en tiempo real disponible en la página web de IQAir. Según los datos del 6 de enero del 2025, el ICA era de 19 y la concentración de PM_{2,5} de 3,5 µg/m³, cumpliendo con los límites recomendados por las directrices de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) ^[44].

En 2013, en la ciudad de Campana, se firmó el Convenio de Monitoreo de Calidad de Aire Campana-Zárate, suscrito por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), las municipalidades de Campana y Zárate, y el Comité Interindustrial para la Conservación del Ambiente Campana-Zárate (CICACZ). Este convenio estableció el marco institucional para la operación de una red de monitoreo continuo gestionada por el CICACZ.

El sistema de monitoreo incluye una estación central de recolección y procesamiento de datos ubicada en la Subsecretaría de Medio Ambiente de la Municipalidad de Campana y tres estaciones remotas. Estas estaciones, instaladas en la Municipalidad de Campana, el Hogar Santa Teresita de Zárate y el predio de la Central Termoeléctrica Manuel Belgrano en Campana, miden de forma continua las concentraciones de contaminantes como monóxido de carbono (CO), material particulado grueso (PM₁₀), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂) ^[45].



Actualmente, los índices de calidad del aire registrados son buenos en todas las estaciones, respecto al partido de Zárate. En las figuras 22 y 23 del Anexo 5, se presentan los gráficos correspondientes a las mediciones realizadas en octubre de 2024.

8.3.1.6. Ruido

Se identifican dos fuentes principales de ruido: naturales y antrópicas, cuya relevancia varía según la ubicación. En zonas urbanas, el tránsito vehicular y los sonidos propios de áreas pobladas, como el uso de herramientas o actividades recreativas, son predominantes. En los puentes de vías principales, como las Rutas Provinciales N° 6 y N° 39 y las Rutas Nacionales N° 8, N° 193 y N° 9, el ruido vehicular es intenso y constante.

Por otro lado, en ambientes rurales o semi-rurales, las fuentes naturales de ruido, como los sonidos estacionales de insectos y aves, son predominantes. Las fuentes antrópicas en estas zonas incluyen el tránsito vehicular, generalmente bajo, y el uso de maquinaria industrial.

Actualmente, no se dispone de datos públicos específicos sobre los niveles de ruido ambiental medidos en Zárate.

8.3.1.7. Climatología

El análisis climático de Zárate se obtiene de los datos de la Estación Meteorológica Aeropuerto de San Fernando (34°27'16" S, 58°35'27" O), ubicada a 65 km al sureste y a 3 m.s.n.m. Se analizaron registros horarios históricos y modelos climáticos correspondientes al período 1980-2016 (Weatherspark). También se incorporaron datos complementarios de las estaciones San Fernando Airport (56 km al sureste, -25 m), Aeropuerto de Galeguaychú (127 km al norte, -6 m), Ricardo de Tomasi (130 km al noreste, -6 m) y Aeropuerto de Junín (182 km al oeste, +51 m). Esto permite obtener una representación estadística del clima templado típico de la región (Anexo 5 - Figura 23).

8.3.1.7.1. Temperatura

En Zárate, la temporada calurosa abarca aproximadamente 3,5 meses, del 27 de noviembre al 10 de marzo, con máximas diarias promedio superiores a 27°C. Enero es el mes más cálido, con máximas promedio de 30°C y mínimas de 19°C.



La temporada fresca dura cerca de 3 meses, del 21 de mayo al 20 de agosto, con máximas promedio inferiores a 18°C. Julio es el mes más frío, con mínimas promedio de 6°C y máximas de 15°C.

Los veranos en Zárate son cálidos, húmedos, lluviosos y mayormente despejados, mientras que los inviernos son fríos y parcialmente nublados. Las temperaturas anuales oscilan entre 6°C y 30°C, con extremos ocasionales por debajo de 0°C o por encima de 35°C. En la figura 24 del Anexo 5 se presentan las temperaturas promedio máximas y mínimas de la región.

8.3.1.7.2. Precipitaciones

En Zárate, un "día mojado" se define como aquel con al menos 1 mm de precipitación, ya sea lluvia o nieve. La probabilidad de días mojados varía a lo largo del año, distinguiéndose dos temporadas principales:

- Temporada húmeda. Dura 6,5 meses, del 4 de octubre al 20 de abril, con una probabilidad diaria superior al 27%. Febrero es el mes más lluvioso, con un promedio de 10,2 días mojados que acumulan 123 mm.
- Temporada seca. Se extiende por 5,5 meses, del 20 de abril al 4 de octubre. Julio, el mes más seco, promedia 5,2 días mojados y 44 mm de lluvia.

La lluvia es la precipitación predominante, alcanzando su mayor probabilidad (38%) el 8 de febrero. A lo largo del año, Zárate experimenta lluvias constantes con marcados contrastes entre meses húmedos y secos, representados mediante una escala móvil de 31 días que refleja variaciones estacionales ^[41].

8.3.1.7.3. Viento

Esta sección analiza el comportamiento promedio del viento en Zárate, considerando su velocidad y dirección a 10 metros sobre del suelo. Aunque los promedios horarios ofrecen una visión general, factores locales como la topografía y las variaciones instantáneas pueden influir notablemente.

La velocidad del viento presenta ligeras variaciones estacionales: la temporada ventosa dura 5,1 meses, del 11 de julio al 16 de diciembre, con velocidades promedio superiores a 13,4 km/h. Septiembre es el mes más ventoso, con un promedio de 14,6 km/h. En cambio, la temporada calmada abarca 6,9 meses, del 16 de diciembre al 11 de julio. Mayo es el mes más tranquilo, con vientos promedio de 12,4 km/h.



La dirección predominante del viento varía a lo largo del año:

- Norte. Del 14 de abril al 29 de agosto, con un máximo del 36% el 28 de mayo.
- Sur. Del 29 de agosto al 5 de septiembre, alcanzando el 30% el 4 de septiembre.
- Este. Del 5 de septiembre al 14 de abril, con un pico del 43% el 1 de enero ^[41].

En la figura 25 del Anexo 5 se observa la velocidad promedio del viento en Zárate.

8.3.1.7.4. Humedad

En Zárate, la sensación de humedad varía significativamente a lo largo del año. El período más húmedo se extiende por aproximadamente 4,9 meses, del 17 de noviembre al 13 de abril, durante el cual al menos el 12% del tiempo se percibe una sensación de “incomodidad” ^[41]. Según datos brindados por la Estación de San Miguel y El Palomar Aero, surge que los valores de humedad relativa medios mensuales no superan el 78%. A su vez, es necesario mencionar que para todos los meses encontramos máximos entre 99 y 100% de humedad relativa y mínimos de entre 16 y 27% ^[60].

8.3.1.7.5. Tipo de clima

El clima de Zárate es de tipo pampeano, clasificado como templado húmedo. Se caracteriza por veranos cálidos, inviernos moderadamente fríos y una distribución relativamente uniforme de precipitaciones a lo largo del año. La región forma parte de la Pampa Húmeda, que se extiende desde el noreste hasta el centro de la provincia, con una transición gradual hacia condiciones más áridas en el suroeste ^{[42][43]}. En la figura 26 del Anexo 5, se observa el mapa correspondiente a los climas de la provincia de Buenos Aires.

8.3.2. Medio biótico

8.3.2.1. Flora

El partido de Zárate pertenece a la Provincia Fitogeográfica Pampeana, región que se caracteriza por llanuras suaves, ríos de cauce lento, lagunas de agua dulce o salobre, y un clima templado cálido con lluvias distribuidas durante todo el año. La vegetación predominante es una pseudoestepa de gramíneas, complementada por estepas halófitas, matorrales, pajonales y juncales. Sin embargo, la introducción histórica de actividades agrícolas y ganaderas ha transformado significativamente el paisaje, dejando poca vegetación original, que se conserva en áreas marginales como campos abandonados y bordes de vías férreas (Cabrera, 1956).



Zárate se ubica en la "pampa ondulada" caracterizada por una suave ondulación del terreno debido a la erosión fluvial y con rasgos como barrancas, bajos y terrazas fluviales. La zona cuenta con un sistema hidrográfico independiente, donde ríos y arroyos desembocan en el Paraná. La vegetación se compone principalmente de gramíneas diversas, que reflejan las condiciones climáticas templadas y húmedas (Vervoorst, 1967).

En el Distrito Pampeano Oriental, comunidad clímax de Zárate, predominan las "flechillas", gramíneas cespitosas que varían entre 0,5 y 1 metro de altura. La densidad de su cobertura, que oscila entre el 50% y el 100%, depende de factores como la fertilidad del suelo, la humedad y la presión del pastoreo. Las especies más frecuentes incluyen *Bothriochloa laguroides*, *Nassella neesiana*, *Aristida murina* y *Jarava plumosa*, entre otras.

La región presenta una notable heterogeneidad de ambientes y hábitats, desde praderas húmedas y halófitas hasta pajonales y lagunas, lo que favorece una amplia diversidad de fauna, especialmente aves acuáticas. Dentro de estas unidades de vegetación destacan:

- Pradera húmeda. Comunidad herbácea con cobertura variable según la estación, que incluye estratos de gramíneas, ciperáceas y hierbas perennes.
- Pradera de hidrófitas. Comunidades como juncuales, totorales y pajonales de cortadera.
- Pradera halófito. Dominada por gramíneas adaptadas a suelos salinos e inundables, como el espartillar.

8.3.2.2. Fauna

La fauna de la Región Pampeana incluye una amplia variedad de mamíferos, aves, peces, reptiles y anfibios. Entre los mamíferos, el coipo (*Myocastor coypus*) destaca por su abundancia en cuerpos de agua y zanjones naturales. Sin embargo, especies como el carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*) y el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus celer*) han desaparecido casi por completo debido a la caza y la pérdida de hábitat.

La región es rica en aves, especialmente en ambientes acuáticos, con especies como:

- Aves acuáticas: Gallareta ligas rojas (*Fulica armillata*), pato gargantilla (*Anas bahamensis*), pato barcino (*Anas flavirostris*) y cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*).



- Gaviotines y gaviotas: gaviotín sudamericano (*Sterna hirundinacea*), gaviotín real (*Thalasseus maximus*), gaviota cocinera (*Larus dominicanus*).
- Playeros y otros: playero rojizo (*Calidris fuscicollis*), rayador americano (*Rynchops niger*), flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*).
- Especies comunes: Tero común (*Vanellus chilensis*) y cotorra (*Myiopsitta monachus*).

En cuanto a la ictiofauna, los ríos, arroyos y lagunas albergan especies como el pejerrey (*Odontesthes bonaeriensis*), tararira (*Hoplias malabaricus*), madrecita de agua (*Cnesterodon decemmaculatus*) y bagre negro (*Rhamdia quelen*).

Las especies más valiosas con fines comerciales y deportivos son generalmente aquellas de gran porte, las cuales manifiestan un comportamiento migratorio: surubí (*Pseudoplatystoma corruscans*), dorado (*Salminus brasiliensis*), boga (*Megaleporinus obtusidens*), sábalo (*Prochilodus lineatus*), pacú (*Piaractus mesopotamicus*), armado (*Pterodoras granulosus*). En el año 2005, el Gobierno Nacional sancionó la Ley 26.021, que declara al dorado como “Pez de Interés Nacional”, e invitó a los gobiernos provinciales y a la Ciudad de Buenos Aires a adherir a la norma y crear otras que permitan su protección. La norma aprobada “prohíbe el acopio y la comercialización del Dorado en pescaderías, hipermercados, supermercados y autoservicios; quedan exceptuados los restaurantes. Además, impide en las aguas costeras del Río de la Plata –correspondientes a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires- la pesca comercial y la pesca sin devolución de esta especie.”

[59]

Entre los reptiles predominan lagartijas de los géneros (*Liolaemus* y *Diplolaemus*), el lagarto overo (*Salvator merianae*) y serpientes como culebras (*Liophis sp.*, *Philodryas sp.*) y yararás (*Bothrops sp.*).

Por último, los anfibios de la región incluyen diversas especies de sapos (*Bufo sp.*) y ranas (*Leptodactylus sp.*), presentes en hábitats húmedos asociados a los cuerpos de agua.

8.3.2.3. Áreas naturales protegidas

Un "Área Natural Protegida Municipal" es un espacio cuyo territorio pertenece al municipio y cuya creación se establece mediante una ordenanza que define sus valores, objetivos de conservación, zonificación, usos permitidos y prohibidos, y otras directrices. Estas áreas pueden adoptar distintas denominaciones, como Reserva Natural Municipal, Reserva Ecológica Municipal o Parque Ecológico Municipal (De Cabo y Speake, 2021).



La Reserva Natural Urbana del Partido de Zárate (ReNUZ) fue creada en 2014 mediante la Ordenanza N° 4.365, abarca 63 hectáreas que se extiende desde el Parque de la Cruz hasta el río Paraná de las Palmas, destinadas a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales. Su objetivo principal es preservar las especies autóctonas, restaurar suelos afectados por erosión eólica e hídrica, y promover actividades recreativas y de turismo sostenible, garantizando el acceso de la comunidad a un entorno natural protegido ^[51].

La Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Isla Botija, creada en 1958 mediante el Decreto Provincial N° 5.421, abarcaba inicialmente 681 hectáreas con el objetivo de conservar ecosistemas representativos del Delta del Paraná. En 2010, mediante la Ley Provincial N° 14.179 y su decreto reglamentario, se amplió su extensión a 730 hectáreas, y se designaron como Refugio de Vida Silvestre los lotes linderos y ambos márgenes del arroyo Falsa Botija, alcanzando un total aproximado de 4.108 hectáreas.

Por otro lado, los talares de Zárate no cuentan con protección oficial y representan un ecosistema de alta biodiversidad actualmente amenazado. Estos bosques xerofíticos se desarrollan en barrancas y acantilados inactivos con buen drenaje pluvial, y están catalogados como un Área de Importancia para la Conservación de Aves. Además, son valiosos para la investigación, el turismo y la educación ambiental, así como por su potencial genético. Sin embargo, enfrentan graves amenazas debido a actividades humanas y la invasión de especies exóticas, lo que ha llevado a la pérdida de sectores significativos de este ecosistema ^[52].

8.3.2.4. Especies amenazadas

Varias especies de vertebrados destacan por su relevancia al estar catalogadas como vulnerables, tal como se detalla en la tabla 10.

Tabla 10. Apéndices CITES (Ley Nacional N° 22.344, Dec. 522/97). Fuente: CITES.

Orden	Especie	Nombre común	Nivel	Distribución
Aves	<i>Heliomaster furcifer</i>	Picaflor barbijo	2	Centro y Noreste del país. Su límite sur llega hasta la Bahía Samborombón inclusive.
	<i>Hylocharis chrysur</i>	Picaflor bronceado	2	Noreste del país. Noreste de Bs. As
	<i>Chlorostilbom lucidus</i>	Picaflor común	2	Centro del país.



	<i>Leucochloris albicollis</i>	Picaflor garganta blanca	2	Este del país hasta Bs. As.
	<i>Rhea americana</i>	Ñandú	2	Norte y centro este del país excepto Misiones.
	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila mora	2	Todo el país. Diversos ambientes.
	<i>Caracara plancus</i>	Carancho	2	Todo el país.
	<i>Buteogallus meridionalis</i>	Aguilucho colorado	2	Noreste del país y Pcia. de Bs. As.
	<i>Buteo swainsoni</i>	Aguilucho langostero	2	
	<i>Buteo albicaudatus</i>	Aguilucho cabeza negra	2	Desde el norte del país hasta Chubut
	<i>Accipiter striatus</i>	Azor común	2	Norte y centro del país
	<i>Paroaria coronata</i>	Cardenal común	2	Norte del país, La Pampa y Costa Bonaerense
	<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	2	Todo el país, excepto nordeste
Mamíferos	<i>Pseudalopex gymnocer</i>	Zorro gris pampeano	2	Norte y centro este del país
	<i>Leopardus colocolo</i>	Gato de pajonal	2	Todo el país
	<i>Leopardus geoffroyi</i>	Gato montés común	1	Todo el país
	<i>Ozotoceros bezoarticus celer</i>	Venado de las pampas	1	Bahía Samborombón y San Luis
Reptiles	<i>Salvator merianae</i>	Lagarto Overo	2	Nordeste y centro de Argentina.
<p>Nivel 1: Comercio prohibido. Solo se permite la importación, exportación con fines científicos. Nivel 2: Comercio regulado con cupos anuales por especies CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) del país de origen.</p>				

Todas ellas están protegidas por normativa vigente que prohíbe su caza y comercialización en la provincia de Buenos Aires. Entre estas regulaciones se incluyen la Ley Nacional 22.344, el Decreto 522/97 (Apéndice CITES), la Ley Nacional 22.421 de Conservación de la Fauna y su Decreto Reglamentario 666/97, así como el Decreto N° 110/81 de la provincia de Buenos Aires.



8.3.3. Medio socioeconómico

8.3.3.1. Contexto regional

El partido de Zárate se caracteriza por una destacada actividad comercial y un desarrollo industrial diversificado, como el papelerero, químico, cervecero, energético nuclear, astillero y automotriz. Su ubicación estratégica en el corredor vial del MERCOSUR lo posiciona como un punto clave para el desarrollo industrial y agroexportador. Además, su proximidad a importantes centros urbanos, como la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, el Conurbano Bonaerense y la ciudad de Rosario, refuerza su relevancia económica y logística [40].

8.3.3.2. Aspectos demográficos

Según el último censo nacional (INDEC, 2022), el partido de Zárate cuenta con 132.087 habitantes, de los cuales el 51,19% son mujeres, el 48,24% varones y el 0,57% no binarios, con una densidad poblacional de 111,1 hab/km². Esto representa un incremento poblacional del 15,6% respecto al censo de 2010, cuando se registraron 114.269 habitantes.

La estructura etaria de Zárate, basada en datos del censo 2010, refleja una población predominantemente joven, donde el 26,4% tiene menos de 15 años y el 9,8% supera los 65 años. Además, el 63,8% de los habitantes forma parte de la Población Económicamente Activa (PEA), mientras que aproximadamente el 9% de los hogares presenta necesidades básicas insatisfechas (NBI) [40].

8.3.3.3. Aspectos de vivienda

En el partido de Zárate, el 86,26% de las viviendas son casas, el 8,19% departamentos, el 5,24% ranchos y casillas, y el 0,32% corresponde a otro tipo de viviendas. Comparativamente, en la provincia de Buenos Aires, el 81,50% de las viviendas son casas, el 14,95% departamentos, el 3,02% ranchos y casillas, y el 0,54% pertenece a otras categorías.

El acceso a agua corriente en las viviendas alcanza el 85,02% en el partido, cifra inferior al promedio provincial del 90,16%. Además, el 8,05% de los hogares de Zárate acceden al agua corriente o a otras fuentes de agua ubicadas fuera de la vivienda o del terreno.



En cuanto al sistema de saneamiento, el 63,84% de los hogares en Zárate cuentan con servicio de desagüe a la red pública (cloacas), un porcentaje mayor al 48,42% registrado en la provincia. El 36,16% restante utiliza desagüe a cámara séptica, pozo ciego u hoyos ^[40].

8.3.3.4. Educación y salud

Según el censo nacional de 2010, el 93,49% de la población del partido de Zárate sabe leer y escribir. En relación con el nivel de instrucción de la población de 15 años o más, el 30,66% ha completado el nivel primario, pero no el secundario, mientras que el 30,55% posee el secundario completo. La asistencia educativa en los niveles primario y secundario es mayor en Zárate que en el promedio provincial, aunque en los niveles superior no universitario y universitario es ligeramente inferior.

El partido de Zárate forma parte de la Región Sanitaria V, una entidad encargada de gestionar la salud en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Esta región cuenta con 365 centros de salud operativos, incluyendo establecimientos públicos y privados de diversas complejidades, salas de primeros auxilios, centros de atención primaria y hospitales. Su objetivo es prevenir enfermedades, promover el bienestar y organizar la demanda sanitaria, gestionando, supervisando, monitoreando y evaluando las políticas, planes y programas de salud ^[54].

8.3.3.5. Infraestructura y accesos

La red de agua potable de Aguas de Zárate cuenta con 42 pozos que extraen agua del acuífero Puelche, conectados a una red de 250 km formada por anillos y cañerías troncales en un sistema abierto, resultado de un crecimiento urbano sin planificación adecuada. El sistema de desinfección opera con 30 estaciones de cloración en boca de pozo. Los controles de calidad abarcan presión, cloro residual, turbidez y análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, según la Ley 11.820, complementados por el Laboratorio Municipal.

La cobertura de desagües cloacales alcanza al 64% de la población. La red cloacal, de 133 km, incluye 5 estaciones de bombeo en zonas bajas de la ciudad donde no es posible el funcionamiento por gravedad. Actualmente, los efluentes se vierten sin tratar al río Paraná de las Palmas debido a la falta de una planta de tratamiento ^[50].

La Cooperativa CEZ distribuye energía eléctrica a 41.000 usuarios en el partido de Zárate bajo una concesión municipal reafirmada en 2022. El 30% del consumo corresponde



a usuarios residenciales y el 70% a industrias locales. Desde 2017, CEZ también distribuye energía en la zona insular de Campana. Como agente del Mercado Eléctrico Mayorista y en convenio con CAMMESA, garantiza un suministro ininterrumpido ^[55].

En cuanto a los accesos, el fluvial se realiza a través del cauce principal del Río Paraná de las Palmas, con un ancho de 100 metros y un calado máximo de 70 pies. Gracias a su caudal, capacidad de autodragado y profundidad natural, es adecuado para barcos de ultramar y está entre las principales vías fluviales del país. En el complejo Zárate-Lima operan diversas terminales portuarias, públicas y privadas, destacándose el Muelle CNA I, Complejo Delta Dock, Terminal Las Palmas-MOLCA, Terminal de Combustibles VITCO y Auto Terminal Zárate.

Además, la ciudad de Zárate cuenta con los servicios del Nuevo Central Argentino (NCA) y el Ferrocarril General Urquiza. Hay tres servicios diarios de pasajeros entre Retiro y Zárate, con transbordo en Villa Ballester. Además, por la zona circula el ramal Retiro-Rosario Norte de Trenes Argentinos, que incluye la estación Lima, actualmente fuera de operación.

El partido de Zárate se conecta por las Rutas Nacionales N°9 y N°12, que lo vinculan hacia el norte con las provincias mesopotámicas y países como Brasil, Paraguay y Uruguay a través del Puente Zárate-Brazo Largo, y hacia el sur con la Ciudad de Buenos Aires por la Ruta Panamericana ^[49].

8.3.3.6. Actividades socioeconómicas

El partido de Zárate es un polo industrial destacado y centro de intensa actividad exportadora. Aunque cuenta con una importante actividad rural, la industrial predomina impulsada por su ubicación estratégica y sus eficientes vías de comunicación terrestre y fluvial con el país y la región.

En Zárate conviven grandes industrias (frigoríficas, químicas, papeleras, siderúrgicas y destilerías) con numerosas pymes que les brindan servicios. Entre las principales empresas radicadas se destacan Bayer, TFL, Protisa, Quilmes, Isenbeck y Monsanto.

La agricultura, liderada por la producción de soja, es una de las actividades más relevantes tanto por el volumen de producción como por la superficie cultivada. También se desarrollan cultivos como trigo, maíz, sorgo, frutales y caña de azúcar. Aunque la ganadería es una actividad común en la región, no genera un transporte significativo de productos a



través de los ríos, a diferencia de la producción agrícola, que utiliza las vías fluviales para movilizar grandes volúmenes de granos hacia puertos y mercados.

El sector agropecuario ha fomentado el desarrollo de una agricultura intensiva y especializada, con fruticultura, cultivos industriales y forestaciones comerciales. En el Bajo Delta Bonaerense, la forestación es la principal actividad primaria, con predominio del sauce y el álamo. La producción de madera abarca unas 80.000 hectáreas y abastece industrias como la de pasta celulósica, aserrío, tableros aglomerados y fósforos.

La pesca, por su parte, incluye modalidades artesanal-comercial, deportiva, recreativa y de subsistencia. En el Bajo Paraná, la pesca artesanal y de subsistencia es predominante, mientras que en el Paraná Inferior y Medio sobresale la captura de sábalo, surubí y dorado, especies clave para la actividad económica local ^[50]. Como ya se mencionó, en 2005, la Ley 26.021 declaró al dorado “Pez de Interés Nacional” e invitó a provincias y a la Ciudad de Buenos Aires a adherir y reforzar su protección. La norma prohíbe su acopio y venta en comercios, excepto en restaurantes.

8.3.3.7. Valor histórico, cultural y turístico

Zárate es un núcleo cultural destacado con espacios como el Teatro Coliseo, una sala de cine, el Almacén Cultural Cooperativo, el salón del Palacio Municipal, el anfiteatro de Plaza Italia y la peatonal Justo Lima, donde se realizan espectáculos callejeros. El Almacén Cultural Cooperativo, ubicado en una casona de 1920, funciona como espacio cultural abierto con talleres de arte, danza, manualidades y platería, entre otros.

Entre los recursos históricos sobresale la Quinta Jovita, museo que refleja la vida de la burguesía local del siglo XIX y forma parte del patrimonio arquitectónico de la época. La Sociedad Argentina de Escritores (SADE) Seccional Zárate promueve actividades literarias y artísticas, complementadas por bibliotecas públicas como José Ingenieros y la del Círculo Popular de Cultura ^[50].

Zárate es conocida como la “Capital Provincial del Tango” por ser cuna de grandes exponentes como los hermanos Expósito. Los festivales de tango y las peñas folklóricas destacan, influenciadas por la inmigración de familias del litoral argentino. Entre los centros tradicionalistas resalta el Centro Entrerriano, reconocido por su sede social y eventos culturales.



En el ámbito turístico, Zárate ofrece opciones como el circuito cívico, el paseo de la costanera, clubes náuticos, pesca, excursiones en el río Paraná y vuelos en el aeródromo. También se destacan las estancias y actividades recreativas en el Club de Golf ^[49].

El Delta del Paraná, un mosaico de humedales fluvio-costeros, combina biodiversidad, paisajes únicos y funciones ecosistémicas como regulación hídrica, depuración de aguas y captura de carbono. Este entorno estratégico, caracterizado por su clima moderado y variedad de hábitats, es clave para la conservación y el desarrollo turístico ^[50]. El turismo en el Delta se organiza en tres ejes principales:

- Ribera continental. Con alojamientos, restaurantes y propuestas tradicionales o actividades recreativas junto a las aguas del Paraná.
- Islas. Espacio para el ecoturismo, la pesca deportiva y actividades náuticas.
- Cursos de agua. Atracciones como playas, balnearios y turismo ecológico, además de complejos termales orientados al turismo de salud.

8.4. Área de influencia del proyecto

El área operativa del proyecto es el predio a ocupar por la PTEL en el Parque Industrial Zárate. Tiene una extensión de 0,05 ha ubicado en la zona industrial, a una distancia de 2.100 metros del Río Paraná. El área de influencia directa (AID) comprende aquellas zonas físicas en las cuales se pueden predecir impactos ambientales directos sobre los receptores sensibles identificados en el área de estudio analizados en su respectivo capítulo. En este caso, el AID abarca a:

- El Río Paraná en el cuál se volcarán los efluentes tratados previamente.
- Predio donde se construirá la PTEL.
- Los caminos de acceso a la PTEL debido al aumento del tráfico de vehículos.

El área de influencia indirecta (AII) del proyecto se caracteriza por ser el área dentro de la cual se prevén impactos indirectos vinculados a impactos directos del proyecto. El AII abarca a:

- Rutas de aves migratorias afectadas por la generación de ruido y la modificación del suelo.
- Migración de fauna por alteración del suelo y la generación de ruidos.
- Afectación en el caudal del Río Paraná por el vuelco diario de los efluentes tratados.



8.5. Análisis de sensibilidad ambiental

Con el fin de identificar el grado de susceptibilidad que el medio ambiente tiene ante el desarrollo de actividades antrópicas generadoras de impactos, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad ambiental. Siendo la susceptibilidad el nivel de afectación potencial de cada componente ambiental ante una perturbación, las zonas consideradas sensibles que se destacan son:

- Servicios ecosistémicos de la Reserva Natural Urbana del Partido de Zárate (ReNUZ). Los ruidos y vibraciones pueden afectar al comportamiento de la fauna y generar pérdidas de biodiversidad, La PTEL se encuentra a una distancia de 8 km de la ReNUZ. Por esta razón, se considera una zona con sensibilidad alta.
- Servicios ecosistémicos de la Reserva Natural Provincial de Uso Múltiple Isla Botija. Los ruidos y vibraciones, en especial en las etapas de construcción y cierre, pueden afectar el comportamiento de la fauna y generar la pérdida de biodiversidad. La PTEL se encuentra a una distancia de 23 km de la Reserva Natural, lugar de refugio de vida silvestre. Por esta razón, se considera esta zona con una sensibilidad baja.
- Los servicios ecosistémicos de los talares de Zárate no cuentan con protección oficial y representan un ecosistema de alta biodiversidad actualmente amenazado. Los ruidos y vibraciones, en especial en las etapas de construcción y cierre, pueden afectar el comportamiento de la fauna y generar la pérdida de biodiversidad. La PTEL se encuentra a una distancia mínima de 2 km del talar más próximo. Por esta razón, se considera esta zona con una sensibilidad media.
- Servicios de aprovisionamientos importantes del Río Paraná. La calidad del recurso hídrico es indispensable para la preservación de la fauna y flora. Debido al vuelco de efluente constante durante la etapa de operación, se considera al Río Paraná con una sensibilidad media.
- La construcción de la PTEL afectará el paisaje pintoresco de la zona donde se asentará. Sin embargo, se tendrá en cuenta el valor estético detallado en el plan de mitigación correspondiente. Se considera una zona de sensibilidad baja.
- La preparación del terreno genera una degradación del suelo. Se considera una zona de sensibilidad alta.
- El proyecto provoca una modificación de los drenajes, pudiendo afectar la recarga de las aguas subterráneas. Se considera una zona de sensibilidad media.
- El camino empleado por transportistas y empleados que se dirigen a la PTEL, generará un aumento en la emisión de material particulado y emisiones gaseosas. La pavimentación del camino también provocará la pérdida de flora y la degradación de los suelos. La sensibilidad considerada es media.



8.6. Identificación de aspectos e impactos ambientales

En primer lugar, se identifican los factores ambientales que potencialmente pueden sufrir un impacto en el área de influencia (tabla 11).

Tabla 11. Factores ambientales identificados en el área de influencia del proyecto.

Medio	Elemento	Factor
Físico	Agua	Calidad del agua subterránea
		Calidad del agua superficial
	Suelo	Contaminación por derrames líquidos
		Contaminación por desechos sólidos
		Vibraciones
	Aire	Calidad
Ruidos		
Biológico	Ecosistema	Paisaje
	Flora	Cobertura de vegetación natural
	Fauna	Diversidad
Antrópico	Social	Salud
		Transporte
	Económico	Empleo
		Producción industrial

A partir de la información de línea de base desarrollada en el capítulo correspondiente, se identifica la forma en que los diferentes factores ambientales podrían resultar afectados por las distintas etapas del proyecto y sus principales actividades.

8.6.1. Etapa de construcción

Las actividades realizadas en la etapa de construcción capaces de generar impactos son las siguientes:

- Preparación del terreno: desmonte, limpieza, relleno, drenaje de profundidad y nivelación.
- Construcción de los cimientos y de la obra civil con el máximo personal trabajando, descarga y acopio de importantes volúmenes de materiales de construcción.



- El abastecimiento de agua durante la construcción.
- Intenso tráfico de camiones y vehículos pesados para la provisión de insumos, materiales para la construcción de la PTEL y traslados del personal.
- Ruidos y vibraciones de diversas fuentes por el tráfico de vehículos pesados e intensivo trabajo de maquinaria pesada en el predio.

Los posibles impactos causados por las actividades mencionadas anteriormente son:

- Alteración de flora: debido a los movimientos de tierra vinculados a la preparación del terreno, la eliminación de la cubierta vegetal, maquinaria y vehículos pesados.
- Alteración de la fauna: debido al movimiento de tierra, ruidos, vibraciones y presencia de personal constantemente.
- Modificación de ecosistemas: debido a la eliminación de la cubierta vegetal, generación de polvo que altera la productividad vegetal, fragmentación del paisaje por asentamiento de la infraestructura.
- Degradación de suelos: debido a la impermeabilización del suelo por compactación, destrucción de la estructura del horizonte, vertidos accidentales o incontrolados, disposición de residuos generales y/o especiales fuera del sitio asignado, vibraciones producto de las tareas de movimiento del suelo.
- Valor estético: debido a la degradación del paisaje y generación de ruido representativo.
- Calidad de agua subterránea: debido a la consolidación e impermeabilización de la zona perturbando la tasa de recarga del acuífero y su dinámica subterránea.
- Calidad de agua superficial: debido a la emisión de material particulado, incremento de sólidos en suspensión, generación de residuos no controlados ni acoplados correctamente.
- Calidad del aire: debido a la emisión de gases y material particulado.
- Generación de empleo: debido a la necesidad de personal que lleve a cabo las tareas mencionadas.

8.6.2. Etapa de operación

Las actividades realizadas en la etapa de operación capaces de generar impactos son las siguientes:

- Tráfico de camiones y vehículos debido a la provisión de insumos, materiales para la operación de la PTEL y traslados del personal.



- Generación de residuos industriales especiales y no especiales.
- Ruidos y vibraciones producto de la maquinaria instalada, el funcionamiento de las unidades de tratamiento, el ingreso y salida de vehículos y camiones.
- Vuelco del efluente tratado al Río Paraná de las Palmas.
- Reutilización de agua tratada para la limpieza de pisos.
- Tareas de limpieza, mantenimiento, administrativas, laboratorio, entre otras que forman parte de la operación diaria de la PTEL.

Los posibles impactos causados por las actividades mencionadas anteriormente son:

- Degradación de suelos: debido a vertidos accidentales o no controlados, contaminación física por arrastre de particulado fino, disposición de residuos generales y/o especiales fuera del sitio asignado, vibraciones producto de vehículos y maquinaria.
- Calidad de agua subterránea: debido al anegamiento de suelos, variación del drenaje, pH y conductividad de los suelos al afectar la dinámica del nivel freático. Posibles derrames accidentales.
- Calidad de agua superficial: debido al vuelco diario del efluente tratado en el Río Paraná de las Palmas, el caudal natural se modifica. Emisión de material particulado producto de los procesos de combustión, incremento de los sólidos en suspensión, generación de residuos no controlados ni acoplados correctamente.
- Calidad del aire: debido a las emisiones gaseosas contaminantes, material particulado y polvo generado por vehículos.
- Alteración de flora: debido a alteraciones en la vegetación, material particulado de vehículos, posibles derrames accidentales, incorrecto acopio de residuos industriales especiales y no especiales.
- Alteración de la fauna: debido a las alteraciones en la vegetación, ruidos y vibraciones, atropellamiento o pérdida de fauna debido a la infraestructura, maquinaria y vehículos.
- Modificación de ecosistemas: debido a la disminución de la producción de biomasa por alteración del suelo, modifica la estructura de las comunidades vegetales y, en consecuencia, de la fauna asociada a éste.
- Generación de empleo: debido a la necesidad de personal para el correcto funcionamiento de la PTEL.
- Disminución del consumo de agua: debido a la tecnología de tratamiento del efluente que permite su reutilización en la limpieza.



8.6.3. Etapa de cierre

Las actividades realizadas en la etapa de cierre capaces de generar impactos son las siguientes:

- Intenso tráfico de camiones y vehículos pesados por la provisión de insumos y materiales para la demolición de la PTEL, retiros de residuos industriales especiales y no especiales, y traslados del personal.
- Ruidos y vibraciones de diversas fuentes como el tráfico de vehículos pesados, trabajo de maquinaria pesada en el predio, desmantelamiento y demolición.
- La limpieza del terreno consiste en la generación de residuos industriales sólidos y líquidos especiales y no especiales.
- Carga y acopio de importantes volúmenes de materiales de cimientos en general, generación de áridos y de residuos de la construcción (mampostería, escombros, etc.).
- Reconstrucción paisajística del terreno.

Los posibles impactos causados por las actividades mencionadas anteriormente son:

- Alteración de flora: debido a los movimientos de tierra vinculados a la desmantelación de la PTEL, material particulado, emisiones gaseosas de vehículos, posibles derrames accidentales.
- Alteración de fauna: debido a las alteraciones en la vegetación, ruidos y vibraciones, atropellamiento o pérdida de fauna debido a maquinaria y vehículos.
- Modificación de ecosistemas: debido a la reconfiguración del terreno con cobertura vegetal natural.
- Calidad de agua superficial: debido a la demolición se ocasiona material particulado y polvo, incremento de sólidos en suspensión.
- Calidad de agua subterránea: debido al desmantelamiento de la infraestructura de la zona perturbando la tasa de recarga del acuífero y su dinámica subterránea.
- Calidad del aire: debido a la emisión de gases y material particulado
- Degradación de suelos: debido a la erosión por desmantelamiento de infraestructura, destrucción de la estructura del horizonte, disposición de residuos generales y/o especiales fuera del sitio asignado, vibraciones producto de las tareas de movimiento del suelo.
- Generación de empleo: debido a la necesidad de mano de obra especializada.



8.6.4. Valoración de los impactos

La valoración de los impactos permite conocer cuáles son las alteraciones que se producen sobre cada uno de los elementos, informando en qué acción del proyecto es necesario actuar para así evitar o atenuar el impacto asociado a dicha acción, o si el impacto es inevitable, qué tipo de medidas correctoras y/o protectoras deberán implementarse como mínimo.

Para la valoración se lleva a cabo una matriz de interacción del tipo Leopold la cual incluye las acciones del proyecto y los factores ambientales que fueron identificados previamente. Primero se calcula el índice de importancia a partir de los siguientes atributos:

- Signo. El signo positivo indica un impacto beneficioso y el signo negativo indica un impacto perjudicial para el factor ambiental valorado.
- Intensidad (I). Hace referencia al grado de destrucción del factor ambiental valorado: 1 (baja), 2 (media), 3 (alta), 8 (muy alta) y 12 (total).
- Extensión (Ex). Indica el área de influencia del impacto: 1 (puntual), 2 (parcial), 4 (extenso), 8 (total) y 12 (crítica).
- Momento (Mo). Indica el tiempo en que ocurre la acción y la aparición del impacto considerado: 1 (más de 5 años), 2 (entre 1 a 5 años), 4 (menos de 1 año) y 8 (al instante).
- Persistencia (Pe). Se refiere al tiempo de permanencia del impacto: 1 (menor a un año), 2 (dura entre 1 y 10 años) y 4 (más de 10 años).
- Reversibilidad (Rv). Hace referencia a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado: 1 (reversible en menos de 2 años), 2 (entre 2 y 10 años) y 4 (irreversible).
- Sinergia (Si). Se refiere al incremento debido a la acción conjunta: 1 (sin sinergismo), 2 (sinérgico) y 4 (muy sinérgico).
- Acumulación (Ac). Incremento progresivo del impacto: 1 (simple) y 4 (acumulativo).
- Efecto (Ef). Se refiere a la forma de operar sobre el medio: 1 (indirecto) y 4 (directo).
- Periodicidad (Pr). Se refiere a la posibilidad de ocurrencia: 1 (irregular), 2 (periódico) y 4 (continuo).
- Recuperabilidad (Mc). Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, ya sea total o parcial del factor afectado: 1 (recuperable inmediatamente), 2 (recuperable en mediano plazo), 8 (mitigable) y 10 (irrecuperable).

Finalmente, se utilizará la ecuación 8.1 para calcular el valor del impacto:

$$I = \pm (3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc) \quad 8.1$$



En función del valor obtenido, los impactos se caracterizan como impacto positivo aquellos resultados positivos, impactos leves con un valor mayor a -50, impacto medio si se encuentra entre -50 y -80, e impacto alto si el resultado es menor a -80. Los resultados de la matriz de valoración de impactos se pueden ver en la tabla 12, donde aquellos de color verde indican un impacto positivo, en color amarillo un impacto leve y en naranja un impacto medio.

Tabla 12. Matriz de valoración de impactos.

	Elemento	Factor Ambiental	Etapa del proyecto																
			Construcción					Operación					Cierre			Valor medio por factor ambiental			
			Limpieza, desmonte, nivelación del terreno	Movimiento de tierra	Construcción de infraestructura	Abastecimiento de materiales, insumos y maquinaria	Gestión de residuos generales	Operación de PTEL	Vuelco de agua tratada	Reutilización de agua tratada	Limpieza general	Mantenimiento general	Provisión de insumos químicos	Gestión de residuos industriales y lodos	Desmantelamiento de equipamiento		Demolición de infraestructura	Gestión de residuos sólidos y líquidos	Reconstrucción paisajística del terreno
Medio Físico	Suelo	Degradación	-51	-54	-58		-26					-17	-24		-23	-28		-35	
		Vibración	-50												-24	-49		-41	
	Agua	Calidad del agua superficial					-32		-29				-19	-20				-23	-24
		Calidad del agua subterránea			-32	-55		-20	-28		-35	-37	-19	-20		-23	-23		-29
	Aire	Calidad	-31	-33	-37	-37		-27					-24	-21	-25	-31	-24		-29
Ruido		-35	-30	-63	-48		-35							-36	-53			-43	
Medio Biológico	Flora	Vegetación natural	-53	-59	-53	-46												-53	
	Fauna	Diversidad y abundancia	-57	-55	-45	-48												-51	
	Ecosistema	Degradación	-57		-52		-48							-30			-30	-43	
Medio Antrópico	Social	Salud					-25	-17			-19	-19	-23	-30			-29	-23	
		Tráfico vehicular					-55	-37					-29	-30	-28		-33	-35	
	Económico	Empleo																0	
Valor medio por acción			-48	-44	-52	-47	-30	-26	-29	0	-24	-28	-23	-25	-27	-35	-27	0	

8.7. Análisis de riesgos

En esta sección se describen y analizan los riesgos asociados al proyecto, considerando sus características, procesos, equipamiento e insumos empleados. La aceptabilidad de los riesgos (R) se evalúa mediante dos parámetros principales: el grado de certidumbre (C), que depende de la probabilidad de ocurrencia de cada incidente, y la magnitud asociada (M). La ecuación 8.2 muestra la fórmula para calcular la aceptabilidad de los riesgos.

$$R = C * M \quad 8.2$$

La aceptabilidad de los riesgos se clasifica como aceptable si R varía entre 0 y 1,6; tolerable: si R está en el rango de 1,7 a 3,3; e inaceptable si R toma un valor entre 3,4 y 5.



En la tabla 13 se presentan los valores asignados al grado de certidumbre, junto con una breve descripción, así como los posibles valores correspondientes a la magnitud del riesgo en la tabla 14.

Tabla 13. Valores designados para el grado de certidumbre.

Grado de certidumbre (G)	Descripción	Valor
Frecuente	Alta probabilidad de ocurrencia; sucede en forma reiterada.	1
Moderada	Probabilidad de ocurrencia media; sucede algunas veces.	0,8
Ocasional	Posibilidad de ocurrencia limitada; sucede pocas veces.	0,6
Remota	Posibilidad de ocurrencia baja; sucede en forma esporádica.	0,4
Improbable	Posibilidad de ocurrencia muy baja; sucede en forma excepcional.	0,2
Imposible	De difícil posibilidad de ocurrencia; no ha sucedido hasta ahora.	0,1

Tabla 14. Valores de magnitud.

Magnitud (M)	Descripción	Valor
Nula	Magnitud nula de daños; no se tiene en cuenta.	0
Leve	Magnitud leve de daños.	1
Media	Magnitud media de daños.	2
Alta	Magnitud alta de daños.	3
Grave reversible	Magnitud grave de daños reversibles.	4
Grave irreversible	Magnitud grave de daños irreversibles.	5

Uno de los principales riesgos en una planta de tratamiento de efluentes líquidos es la posibilidad de incendios o explosiones. Esto puede suceder debido al manejo inadecuado de productos inflamables, como insumos químicos, combustibles y lubricantes. La falta de condiciones seguras en las áreas de almacenamiento y manipulación, sumada a deficiencias en las instalaciones eléctricas, como sobrecalentamientos o cortocircuitos, incrementa la probabilidad de que estos incidentes ocurran.

Otro riesgo significativo radica en los accidentes laborales que pueden comprometer la salud y seguridad del personal de la planta. Estos accidentes pueden derivarse de caídas en superficies resbaladizas o desniveles, contacto con elementos cortantes o herramientas



manuales y golpes. Asimismo, la exposición a instalaciones eléctricas defectuosas o equipos mal aislados puede generar descargas eléctricas que pongan en peligro la vida de los trabajadores. En el entorno laboral también es común enfrentarse a la exposición prolongada a ruidos elevados, lo que puede provocar daños auditivos, o a sustancias químicas peligrosas que, si no se manejan con el equipo de protección personal adecuado, podrían causar irritaciones, quemaduras o intoxicaciones.

Otro riesgo crítico es el relacionado con los derrames de sustancias peligrosas, químicas o combustibles, los cuales representan una amenaza tanto para la salud de los trabajadores como para el medio ambiente. En la planta se manipulan sustancias químicas utilizadas como reactivos en diversas etapas de tratamiento, así como en el laboratorio, que pueden tener efectos nocivos en la salud y entorno ambiental. Si estas sustancias alcanzan el suelo, existe el riesgo de infiltración que podría contaminar acuíferos subterráneos y generar impactos ambientales graves.

Adicionalmente, un riesgo importante es el asociado a la interrupción o mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento de efluentes. Fallas en equipos clave, como bombas, sistemas de aireación o membranas, pueden provocar la paralización del proceso y, en consecuencia, el vertido de agua al medio ambiente que no cumple con los límites. Este tipo de incidente no solo constituye una violación de las normativas vigentes, sino que también puede tener efectos negativos sobre el Río Paraná de las Palmas, la flora y fauna acuática.

La exposición a riesgos biológicos también es una preocupación relevante. Los operarios y técnicos están en contacto frecuente con efluentes que contienen microorganismos patógenos, lo que aumenta la probabilidad de enfermedades infecciosas si no se aplican medidas de protección adecuadas, como el uso de equipos especializados y la correcta manipulación de materiales contaminados.

A su vez, debe considerarse la posibilidad de lluvias torrenciales que puedan provocar el desborde de ríos y arroyos cercanos, pudiendo generar inundaciones en el área. Esto puede dañar seriamente las estructuras de la planta y equipos, lo que puede resultar en costosas reparaciones y retrasos en la operación. También, existe el riesgo de que los efluentes se escapen, contaminando cuerpos de agua cercanos y afectando el ecosistema local.

Por último, la falta de capacitación continua del personal constituye un factor de riesgo transversal que puede exacerbar todos los escenarios anteriores. La ausencia de



entrenamientos regulares dificulta que los trabajadores desarrollen las habilidades necesarias para operar los sistemas de manera segura, manipular sustancias peligrosas de forma correcta y responder eficientemente ante emergencias. Esto no solo incrementa la probabilidad de errores humanos, sino que también limita la capacidad de mitigación frente a incidentes, comprometiendo tanto la seguridad laboral como el cumplimiento ambiental de la planta.

En la tabla 15 se determina el grado de certidumbre, magnitud y aceptabilidad para cada uno de los riesgos mencionados. Luego, en la tabla 16 se observa la matriz de riesgos con la ubicación de cada uno según su aceptabilidad, donde el color verde indica aceptable, el amarillo tolerable y en rojo un riesgo inaceptable.

Tabla 15. Cálculo de aceptabilidad de cada riesgo.

Valoración del riesgo				
Riesgo	Descripción del riesgo	Certidumbre	Magnitud	Aceptabilidad del riesgo
R1	Incendio, explosión	0,2	5	1
R2	Accidentes laborales	0,6	2	1,2
R3	Contacto eléctrico	0,2	3	0,6
R4	Ruidos	1	2	2
R5	Quemaduras	0,4	3	1,2
R6	Derrames peligrosos	0,4	4	1,6
R7	Riesgo biológico	0,2	3	0,6
R8	Fallas en PTEL	0,2	5	1
R9	Inundación	0,1	3	0,3

Tabla 16. Matriz de riesgos por gravedad y probabilidad.

			Gravedad				
			1	2	3	4	5
			Leve	Media	Alta	Reversible	Irreversible
Probabilidad	0,1	Imposible	R9				
	0,2	Improbable	R3		R1 R8		
	0,4	Remoto	R5 R7		R6		
	0,6	Ocasional	R2				
	0,8	Moderado					
	1	Frecuente	R4				



8.8. Plan de gestión ambiental

El presente Plan de Gestión Ambiental (PGA) tiene como propósito definir y establecer medidas ambientales orientadas a mitigar, prevenir y evaluar los impactos generados por las diversas actividades sobre los factores ambientales en el área de influencia del proyecto. Este plan incluye una serie de programas y planes que se detallan a continuación.

8.8.1. Medidas de mitigación

Las medidas mitigadoras tienden a prevenir o compensar los efectos adversos o negativos de las actividades pertenecientes al proyecto. A continuación en la tabla 17, se describen las medidas diferenciadas en la fase de construcción, operación y cierre.

Tabla 17. Medidas de mitigación.

Elemento	Objetivo	Medida
Aire	Evitar la suspensión de material particulado	- Los vehículos pesados que circulen con o sin carga deberán contar con coberturas de lonas de no ser cerrados.
		- Las vías de acceso deben ser humectadas de ser necesario.
Ruido	Disminuir la generación de ruidos	- Llevar a cabo un plan de mantenimiento de maquinarias para evitar ruidos por averías.
		- Todo personal debe utilizar los elementos de protección personal (EPP) correspondiente.
		- Solicitar proveedores con tecnología de baja generación de ruido.
Suelo	Evitar la degradación del suelo	- Optar por la pavimentación permeable con excepción de aquellas instalaciones que requieran de pavimentación impermeable.
		- Delimitar y controlar el paso de maquinarias y personal, así como el acopio de materiales y residuos, para resguardar la cobertura natural.



		<ul style="list-style-type: none">- Uso de compuestos químicos que no dañen el suelo, de ser posible.
		<ul style="list-style-type: none">- Implementar planes de remediación para suelos impactados y la revegetación con especies nativas.
		<ul style="list-style-type: none">- Durante el cierre, descompactar el suelo en las áreas intervenidas y realizar análisis de calidad para evaluar su remediación.
Agua subterránea	Explotación y degradación del recurso	<ul style="list-style-type: none">- Implementar sistemas de impermeabilización en áreas de almacenamiento y utilización de sustancias químicas.
		<ul style="list-style-type: none">- Diseñar e implementar sistemas de contención para evitar derrames o infiltraciones.
		<ul style="list-style-type: none">- Realizar monitoreos periódicos de calidad de agua subterránea.
Agua superficial	Explotación y degradación del recurso	<ul style="list-style-type: none">- Mantener un monitoreo constante de calidad del agua superficial.
Fauna	Abundancia y diversidad	<ul style="list-style-type: none">- Realizar relevamientos previos para identificar especies sensibles en el área de intervención.
		<ul style="list-style-type: none">- Evaluar la posibilidad de implementar corredores ecológicos para facilitar el desplazamiento de especies.
		<ul style="list-style-type: none">- Durante la operación, mantener áreas verdes con flora nativa que funcionan como refugio para la fauna local.
		<ul style="list-style-type: none">- Monitorear la presencia de especies clave durante la operación y aplicar medidas de gestión adaptativa de ser necesario.
		<ul style="list-style-type: none">- Durante la etapa de cierre, construir corredores



		biológicos clave para facilitar el restablecimiento de la fauna.
Flora	Abundancia y diversidad	- Marcar y proteger árboles y vegetación nativa durante las actividades.
		- Promover la reforestación con especies nativas en áreas afectadas o disponibles.
		- Minimizar las áreas de intervención directa y el uso de maquinaria pesada.
		- Durante la etapa de operación, realizar monitoreos para garantizar la conservación de la flora nativa en áreas cercanas.
		- En la etapa de cierre, llevar programas de restauración ecológica mediante la reforestación con especies nativas y el manejo de invasoras.
Paisaje	Deterioro	- Incorporar diseños arquitectónicos que se integren con el entorno.
		- Implementar jardines verticales en estructuras visibles.
		- Realizar una restauración paisajística en áreas intervenidas una vez finalizada cada etapa del proyecto.

8.8.2. Programa de capacitación ambiental

El objetivo del Programa de Capacitación Ambiental es informar y comunicar a empleados y contratistas la política ambiental de la empresa, sus objetivos y las líneas estratégicas generales, asegurando el conocimiento y aplicación de las pautas fundamentales. Este programa también promueve buenas prácticas laborales, enfocándose en el manejo adecuado de residuos sólidos generales, reciclables y especiales, así como en su correcto descarte, almacenamiento, tratamiento y disposición final.



Un componente clave del programa es motivar a los participantes a adoptar prácticas sostenibles, tales como el cuidado del agua, el ahorro de energía y el uso adecuado de los elementos de protección personal (EPP) correspondientes a cada tarea. Además, se fomenta una cultura interdependiente y comprometida con el cuidado del ambiente.

Las instancias de formación se desarrollan en el marco de un plan de capacitaciones para los empleados y de un proceso de inducción para los contratistas, con sesiones de refuerzo en caso de detectarse desvíos. Asimismo, se instruye al personal sobre los procedimientos de trabajo, los riesgos asociados a sus actividades, el uso correcto de herramientas y el impacto ambiental de sus tareas. Las capacitaciones responden a las necesidades específicas de cada área de trabajo para maximizar su relevancia e impacto.

El responsable del plan de capacitaciones debe garantizar la implementación efectiva del programa, monitorear los resultados, y reportar información clave, como las horas de formación impartidas y el porcentaje de personal capacitado en las actividades.

8.8.3. Programa de seguimiento y control

El programa de seguimiento y control define la metodología, la frecuencia, los parámetros y los puntos de muestreo necesarios para el desarrollo programado del monitoreo de determinaciones ambientales del proyecto. Su principal objetivo es evaluar y supervisar diversos parámetros, como el nivel de ruido, las vibraciones, la calidad del aire, suelo y del agua, asegurando que se mantengan dentro de los valores establecidos por la normativa vigente.

Este programa está bajo la responsabilidad del encargado ambiental del proyecto y, en su etapa inicial, incluye la evaluación del estado de la línea de base del área de estudio. El monitoreo se realiza de forma bimestral o según lo determine la inspección correspondiente, siguiendo estrictamente los cronogramas establecidos para la toma y el análisis de muestras. En base a los resultados obtenidos, se implementan medidas de mitigación para aquellas variables que excedan los límites permitidos por la legislación.

8.8.4. Programa de comunicación

El programa de comunicación tiene como objetivo proporcionar soporte técnico en la difusión de información y promover la participación activa de la comunidad local, especialmente durante las etapas de construcción y operación del proyecto. Su propósito es



establecer canales efectivos de comunicación y ofrecer medios adecuados de participación para vecinos, organismos públicos y privados, organizaciones, y otros actores sociales involucrados.

Este programa también contempla la recepción, gestión y resolución de inquietudes, reclamos o quejas que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto. Esto incluye el registro, la evaluación y la respuesta a cada caso, así como la implementación de soluciones para abordar las situaciones planteadas. Además, se verifica la efectividad de las medidas correctivas aplicadas, con el fin de prevenir la recurrencia de los eventos reportados.

El responsable del programa es quien se encarga de facilitar información clara y actualizada sobre el cronograma del proyecto, así como de notificar a los interesados sobre cualquier modificación o imprevisto en la planificación preexistente de ser necesario. De esta manera, el programa busca fortalecer la confianza y aumentar la transparencia del proyecto. Para asegurar una mejor comunicación, se incorporan las siguientes herramientas:

- Diversificación de canales de comunicación. Se sugieren tanto medios tradicionales (cartelería, reuniones presenciales) como digitales (sitios web, redes sociales, aplicaciones móviles) para garantizar que toda la comunidad tenga acceso a la información.
- Encuestas de satisfacción. Se implementarán encuestas periódicas para evaluar la percepción de la comunidad sobre la calidad de la información proporcionada y el tratamiento de inquietudes, permitiendo ajustar las estrategias de comunicación según los comentarios recibidos.
- Reportes de transparencia. Se publicarán informes periódicos donde se detallen las inquietudes recibidas, las respuestas brindadas y las soluciones implementadas.
- Seguimiento de largo plazo. El programa de comunicación se extenderá más allá de la finalización de las etapas de construcción y operación, incluyendo el cierre del proyecto, para gestionar cualquier inquietud restante y comunicar los resultados finales a la comunidad, asegurando una transición clara y fluida.

8.8.5. Programa de auditorías

El programa de auditorías tiene como propósito evaluar si los sistemas de control ambiental del proyecto son efectivos para garantizar el cumplimiento de los requisitos



regulatorios y las políticas internas. Los objetivos principales de una auditoría ambiental incluyen:

- Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de gestión ambiental
- Asegurar el cumplimiento con las leyes y regulaciones vigentes
- Reducir la exposición a riesgos relacionados con problemas ambientales

Estos objetivos deben ser comprendidos tanto por los auditores como por los auditados, fomentando una colaboración efectiva durante todo el proceso.

El auditor responsable debe contar con el conocimiento de la organización del Sistema de Gestión Ambiental, así como de los requisitos establecidos por las normas ISO 14001:2015. Además, debe estar familiarizado con los requisitos legales aplicables y poseer habilidades en relaciones interpersonales, comunicación oral y escrita, lo que resulta fundamental para facilitar el intercambio de información y la resolución de hallazgos.

Como parte integral del programa, se identifican procesos que requieren mejoras, se detectan posibles desvíos y se evalúan nuevos riesgos ambientales potenciales. A partir de esta evaluación, se formulan recomendaciones para reducir o prevenir impactos adversos, promoviendo la mejora continua del desempeño ambiental y de seguridad del proyecto.

8.8.6. Plan de contingencias

El plan de contingencias tiene como objetivo establecer acciones oportunas y efectivas para mitigar los posibles efectos negativos ante la ocurrencia de siniestros, como incendios, accidentes laborales, derrames de hidrocarburos o sustancias químicas, así como incidentes menos frecuentes, como condiciones climáticas adversas o accidentes de tránsito internos. Estas contingencias pueden presentarse en cualquier etapa del proyecto.

Para garantizar su efectividad, es necesario integrar la preparación del personal en el programa de capacitaciones, asegurando que todos los participantes reciban formación adecuada. Asimismo, es esencial evaluar periódicamente a los capacitados para verificar el aprendizaje y registrar cualquier evento relacionado con contingencias ambientales. Una medida clave dentro del plan es la formación de una brigada de emergencias, que estará capacitada para actuar de manera inmediata frente a cualquier siniestro.

El desarrollo de simulacros regulares es fundamental para evaluar la capacidad de respuesta ante emergencias, identificar posibles fallas en los procedimientos establecidos y ajustar el plan en función de los resultados obtenidos. Estos ejercicios deben planificarse



con una periodicidad adecuada, garantizando la participación de todos los actores involucrados en el proyecto.

Adicionalmente, el plan debe incluir la coordinación con organismos externos, como bomberos, defensa civil y servicios médicos, para asegurar un soporte complementario en situaciones de emergencia que requieran recursos adicionales o asistencia especializada.

El responsable del plan de contingencias debe supervisar su implementación tanto en situaciones cotidianas como durante emergencias. En este último caso, asume el rol de máxima autoridad, tomando decisiones estratégicas y coordinando todas las acciones necesarias para controlar y mitigar la situación de manera efectiva. Por su parte, los trabajadores deben participar activamente en las capacitaciones, adquiriendo las competencias necesarias para responder de manera adecuada en caso de emergencia.

8.9. Conclusiones del EsIA

El Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) evaluó los efectos de la etapa de construcción, operación y cierre de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL) en el partido de Zárate, provincia de Buenos Aires. A través del análisis de línea de base, se identificaron los posibles impactos ambientales, sociales y económicos, así como las medidas de mitigación necesarias para minimizar efectos negativos.

Los principales impactos incluyen modificaciones en el ecosistema, afectaciones a la calidad del agua y del suelo, emisión de material particulado y ruidos. No obstante, el Plan de Gestión Ambiental propone estrategias para reducir estos efectos, como la revegetalización del área, control de emisiones y monitoreo continuo de parámetros ambientales.

En términos de viabilidad, se determinó que el proyecto es factible desde el punto de vista ambiental, siempre que se implementen las medidas de mitigación y seguimiento recomendadas. Además, se prevé un beneficio a largo plazo al tratar los efluentes generados por la industria y reducir costos operativos asociados a la gestión de residuos líquidos.

9. Capítulo 9: Planos

Anteriormente, se describieron en detalle las dimensiones de cada unidad operativa que conforma la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la industria automotriz de



vidrio de seguridad. En este capítulo, se presentan los planos del proyecto, los cuales incluyen vistas individuales de las unidades de tratamiento y una visión general de la planta completa con vista superior y lateral.

Los planos detallan el equipamiento con llave en mano, accesorios, cañerías, bombas y unidades, siendo elementos que se representan de forma ilustrativa, ya que son suministrados por proveedores, a excepción del diseño de las unidades calculadas en los capítulos anteriores.

Además, algunas unidades operativas, el coagulador estático, el filtro prensa y el sistema de ultrafiltración, no cuentan con planos específicos, dado que se adquieren mediante compra directa a proveedores. De todas formas, estas unidades se incluyen de manera ilustrativa en los planos generales de la planta. Los planos se presentan en el Anexo 6, siendo los siguientes:

- Plano 1: Ubicación de PTEL
- Plano 2: Rejas finas efluente industrial
- Plano 3: Rejas finas efluente cloacal
- Plano 4: Vista del ecualizador primario
- Plano 5: Vista de coagulador estático y cámara de floculación
- Plano 6: Vista del sedimentador primario
- Plano 7: Vista del ecualizador secundario
- Plano 8: Vista del reactor biológico de membrana (MBR)
- Plano 9: Vista del espesador por gravedad
- Plano 10: Vista del tanque de estabilización con cal
- Plano 11: CTMyMC
- Plano 12: Vista superior de la PTEL
- Plano 13: Vista anterior de la PTEL



10. Capítulo 10: Conclusiones

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria de vidrio automotriz de seguridad, cumpliendo con los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente para vertidos en cuerpos de agua superficial en la localidad de Zárate, provincia de Buenos Aires, como es el Río Paraná de las Palmas. Además, se plantea como uno de los objetivos principales la recuperación de agua tratada para su reutilización en la limpieza de pisos industriales, siguiendo guías técnicas basadas en lineamientos internacionales, como los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). La caracterización del efluente, proporcionada por la empresa, evidencia altos niveles de sólidos en suspensión, carga orgánica, grasas y aceites, lo que exige un tratamiento eficiente para alcanzar los límites de vuelco permisibles y reutilización no potable de bajo riesgo, según la Resolución 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA) y la OMS y EPA, respectivamente.

El diseño propuesto considera la caracterización del efluente industrial, las variaciones del caudal, los límites de vuelco admisibles según la normativa, así como el área disponible, los recursos económicos para su ejecución y los posibles impactos socioambientales asociados.

En este contexto, se desarrollan tres alternativas de diseño con diferentes tratamientos secundarios, las cuales son sometidas a un análisis cuantitativo y cualitativo. Finalmente, se selecciona la opción más adecuada para las necesidades del proyecto: un tratamiento biológico aeróbico mediante un biorreactor de membrana, ya que frente a las demás alternativas, es la que menor espacio requiere, tiene menor generación de lodos y una mayor eficiencia de remoción de contaminantes. Además, se incorpora un sistema de ultrafiltración para tratar y recuperar agua, atendiendo a la necesidad de cuidar este recurso fundamental. La recuperación del agua caracterizada como no potable de bajo riesgo según la OMS y EPA, permite su reutilización en actividades como la limpieza de pisos, lo que refuerza el compromiso del proyecto con la sostenibilidad y la gestión responsable de los recursos hídricos.

Asimismo, se elabora el cómputo y presupuesto para la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos (PTEL) de la industria automotriz, considerando el costo de inversión inicial, así como los costos asociados a la operación y el mantenimiento. Este análisis permite evaluar la viabilidad económica del proyecto en comparación con la opción de



tercerizar el tratamiento del efluente, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

Finalmente, se desarrolla el Estudio de Impacto Ambiental, abarcando las etapas de construcción, operación y cierre del proyecto. Este estudio considera la sensibilidad ambiental del área circundante, los riesgos asociados y un plan de gestión ambiental detallado, que incluye programas con acciones específicas para garantizar una adecuada integración del proyecto con su entorno ambiental y social.

No obstante, debido a limitaciones de tiempo y acceso a muestras del efluente industrial, quedaron pendientes ciertas líneas de trabajo que se consideran relevantes para fortalecer y complementar el desarrollo del proyecto. Entre ellas, se destaca la necesidad de realizar estudios de laboratorio específicos sobre el efluente, que permitan evaluar con mayor precisión la eficiencia de los tratamientos físicoquímicos propuestos en las etapas previas al tratamiento secundario biológico. Esto incluye ensayos de coagulación-floculación y sedimentación, así como pruebas de filtración y control de sólidos en suspensión, que podrían optimizar el rendimiento general del sistema. Asimismo, se requiere de análisis físicoquímicos del agua reutilizada en tareas de limpieza, específicamente para el lavado de pisos, de forma tal, de asegurar que el agua no represente riesgos para la salud y el ambiente. Estos estudios permitirían determinar con mayor exactitud los requerimientos de insumos químicos, prever ajustes operativos y minimizar el impacto en la calidad del efluente tratado.

En conclusión, se determina que el proyecto es viable desde una perspectiva técnica, económica, ambiental y social.



11. Capítulo 10: Bibliografía

1. Lic. Carolina Sessa. (2020). *Núcleo Socio-Productivo Estratégico Autopartes*. Argentina.gob.ar. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/autopartes_doc.pdf
2. Performance Lube Distribución. (2022). *La importancia del sector automotriz y autopartista*. <https://pldistribucion.com.ar/web/la-importancia-del-sector-automotriz-y-autopartista/>
3. Ministerio de infraestructura y servicios públicos. (s. f.). Mapa Interactivo - Subsecretaría Social de Tierras, Urbanismo y Vivienda. Mapa Interactivo. <http://181.171.117.68/mapa/#>
4. Parque Industrial Zárate. (n.d.). *Parque Industrial Zárate Parque Industrial Zárate*. <https://www.zpi.com.ar/>
5. Vitro. (n.d.). *Vidrio con Tratamiento Térmico - Templado | Vitro Vidrio Arquitectónico*. Vitro Architectural Glass. <https://www.vitroglazings.com/es/productos/otras-aplicaciones-especiales/vidrio-tratado-termicamente/>
6. Acristalarte. (2018). *Vidrio Laminado y sus ventajas*. Cristalería. <https://www.acristalarte.com/vidrio-laminado/>
7. Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse by Metcalf & Eddy 4th Edition* (English Edition) (4.a ed.). McGraw-Hill Education.
8. Sainz Sastre, J. A. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad*. Fundación FOI.
9. Bach. Michael Rolando Pozo Odria, & María Paulina Aliaga Martínez. (2021). *Remoción de sólidos suspendidos totales y aceites y grasas mediante el uso de sulfato de aluminio y ARIFLOC C606 en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, Corporación Miyasato S.A.C., ATE*.
10. Reyes Valladares Fernando Marcelo, & Pablo Elicio Ron Valenzuela MSc. (2019). *Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales en la empresa de vidrio de seguridad Securit S.A.*
11. Raúl Alberto Sánchez Carpio, & Cynthia Elías Giordano. (2012). *Propuesta de aplicación de tecnologías limpias para el reuso del agua residual industrial en una empresa de fabricación de vidrios de seguridad*.



12. Eckenfelder, W. W. (1999). *Industrial Water Pollution Control* (3 Sub ed.). McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
13. Topographic. *Mapa interactivo topográfico de Zárate*.
<https://es-ar.topographic-map.com/map-lh1b3/Z%C3%A1rate/?center=-34.06414%2C-59.09516&zoom=15&popup=-34.06204%2C-59.09441>
14. Lopetegui Garnica, J., Trouvé, E. (2004). *Criterios técnico económicos para la implementación de la tecnología de bioreactores de membrana*.
15. Bluegold. (31/03/2020). *Biorreactor de membrana MBR: Descripción y su aplicación al tratamiento de aguas residuales*.
<https://www.bluegold.es/es/biorreactores-de-membrana-mbr-descripcion-y-aplicacion/#:~:text=Alto%20rendimiento%20de%20depuraci%C3%B3n%3A%20Los,calidad%20que%20puede%20ser%20reutilizado.>
16. Ministerio de Justicia de la Nación. (2012). *Resolución N° 607/2012*.
<https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/195000-199999/195663/textact.htm>
17. Romero Rojas, Jairo A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
18. SCHOTT. *Tecnología de partículas y polvo de vidrio*.
<https://www.schott.com/es-ar/experiencia/tecnologia-y-procesamiento/tecnologia-de-particulas-y-polvo-de-vidrio>
19. Catanese. Detalle de maquinaria de limpieza. <https://catanese.com.ar/node/286>
20. Ecoplast. *Mini-wind Soporte de relleno para percoladoras*.
<https://ecoplast.it/es/prodotto?nome=Mini-wind>
21. Hierros Torrent S.A. *Listado de chapas perforadas*.
<https://www.hierrostorrent.com.ar/listado-de-chapas-perforadas/>
22. Kevin Chen (2022). *What is the difference between MBR and activated sludge systems?*
<https://spertasystems.com/es/difference-between-mbr-and-activated-sludge-systems/#:~:text=La%20elecci%C3%B3n%20entre%20sistemas%20MBR,un%20m%C3%A9todo%20tradicional%20y%20confiable.>



23. Alfa Laval. *MBR membrane*.
<https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/separacion/membranes/membranas-mbr/membranas-mbr/>
24. Pure Aqua, INC. *Sistema Industrial de Ultrafiltración Serie UF*.
<https://es.pureaqua.com/sistema-industrial-de-ultrafiltracion/#>
25. Hosni Irralm Corado Revolorio. (2010). *Diseño de un biorreactor de membrana para la regeneración de las aguas residuales en un establecimiento hotelero*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
26. McCabe, W.L., Smith, J.C. and Herriott, P. (1998). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Madrid.
27. Grundfos. *Bombas sumergibles de aguas residuales*.
<https://product-selection.grundfos.com/es/products/sl/sl1/sl1506522ex250dc-98626698?productnumber=98626698&custid=BGE&pumpssystemid=2511972702&tab=variant-curves>
28. Grundfos. *Bombas dosificación digital*.
<https://product-selection.grundfos.com/ar/products/dosing-pumps-digital/dda/dda-75-16-97722016?pumpssystemid=2511984090&tab=variant-curves>
29. Don Víctor Daniel Gen Cáceres. (2013). *Estudio de los parámetros de funcionamiento del MBR*. Universidad de Alicante, España.
30. Europe Membrane Water Treatment. (2018). *MBR Operación y Mantenimiento*.
<https://europemembrane.com/bioreactores-de-membrana-mbr/mbr-operacion-y-mantenimiento/>
31. Aeration Argentina Tratamiento de Aguas y Efluentes. *Folleto MBR*.
<https://www.aeration.com.ar/contenido/plantas/archivos/11.pdf>
32. Rosenberg, S., Witzig, R., Manz, W., Szewzyk, U., Kraume, M. (2000). *Operation of different membrane bioreactors: experimental results and physiological state of the microorganisms*. Water Science and Technology.
33. Waitec. *Clorador Bomba Dosificadora 1,5/12*.
<https://www.waitec.com.ar/productos/clorador-bomba-dosificadora-15-12/>
34. BioTanks Depósitos y Sistemas de Depuración. *Reja Longitudinal de Cadena RLC*.
<https://biotanks.es/productos/reja-longitudinal-de-cadena-rlc/>



35. Cype Ingenieros, S.A. *Generador de Precios de la Construcción*. Argentina.
<https://argentina.generadordeprecios.info/>
36. Municipalidad de Zárate. (n.d.). *Conocé Zárate – Municipalidad de Zárate*.
<https://zarate.gob.ar/conoce-zarate/>
37. Portal oficial del Estado argentino. (n.d.). *Conceptos fundamentales de evaluación ambiental*.
[https://www.argentina.gob.ar/qmbiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/glosario#:~:text=La%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Impacto%20Ambiental%20\(EIA\)%20es%20el%20proceso%20que,proyecto%20y%20su%20gesti%C3%B3n%20ambiental](https://www.argentina.gob.ar/qmbiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/glosario#:~:text=La%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Impacto%20Ambiental%20(EIA)%20es%20el%20proceso%20que,proyecto%20y%20su%20gesti%C3%B3n%20ambiental)
38. Portal oficial del Estado argentino. (n.d.). *Evaluación de Impacto Ambiental*.
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/evaluacion-de-impacto-ambiental>
39. Portal oficial del Estado argentino. (n.d.). *Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental*.
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/guias-de-evaluacion-ambiental/esia>
40. Unidades Territoriales. (2024). *Gobierno Local de Zárate*.
<https://snop-ppo.obraspublicas.gob.ar/Municipalities/Details/92f65820-d13d-4544-b37f-b36e5e947970>
41. Weatherspark. (2024). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Zárate*.
<https://es.weatherspark.com/y/28851/Clima-promedio-en-Z%C3%A1rate-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-BestTime>
42. INTA. (2024). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
<https://intainforma.inta.gob.ar/>
43. Mapoteca. (n.d.). *Mapas de Buenos Aires*.
<https://mapoteca.educ.ar/.files/index.html@tema=ambiental.18.html>
44. IQAir. (2024). *Calidad del aire en Zárate*.
<https://www.iqair.com/es/argentina/buenos-aires/zarate>
45. CICACZ. (n.d.). *Comité interindustrial de Conservación del Ambiente Campana - Zárate*. <https://www.cicacz.com.ar/index.html>



46. Hidroar S.A. Servicios hidrogeológicos y ambientales. (Marzo, 2019). *Estudio de Impacto Ambiental, Trenes Argentinos Infraestructura*. Partidos Pilar - Exaltación de la Cruz - Zárate, Provincia de Buenos Aires.
<https://www.ambiente.gba.gob.ar/ParticipacionCiudadana/IF-2019-28656171-GDEBA-DEIAOPDS.pdf>
47. FRENGUELLI, J. 1950. Rasgos generales de la morfología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, Ns 33. La Plata.
48. SAGyP INTA. (1986). *Aptitud y Uso actual de las Tierras Argentinas*.
49. CDKoT Consultores Asociados. (Marzo, 2023). *Estudio de Impacto Ambiental. VITRACO S.A. – PARQUE PYME PORTUARIO*. Partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
https://participacionpublica.ambiente.gba.gob.ar/tmp/227_VITRACO_S.A._%E2%80%93_PARQUE_PYME_PORTUARIO.pdf
50. Ecotecnica. (Octubre, 2022). *Estudio de Impacto Ambiental. Arenera Harrow*. Partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/EsIA%20ARENERA%20HARROW_.pdf
51. Bárbara Gasparri. (Febrero, 2023). *Las Áreas Naturales Protegidas Naturales Municipales de la Provincia de Buenos Aires*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
<https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/las-areas-naturales-protegidas-municipales-de-la-provincia-de-buenos-aires.pdf>
52. Elián Leandro Guerrero. (2019). *Los Talaes de Zárate (provincia de Buenos Aires, Argentina). Una Historia de Pérdidas y un Futuro de Comprometido*. CONICET. La Plata, Argentina.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/119335/CONICET_Digital_Nro.9dddb_a8f-936d-4349-a9b5-f6646ab69df1_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
53. Ministerio de Ambiente. *Áreas Naturales Protegidas. Isla Botija*.
https://www.ambiente.gba.gob.ar/anp/isla_botija_0
54. Ministerio de Salud. *Contexto Socio-Sanitario Región Sanitaria V*.
<https://www.ms.gba.gov.ar/ssps/capacitacion/cebas/asesores/Concurso2021/Contexto-SS-RSV.pdf>



55. Cooperativa de Electricidad de Zárate. *La Red Cooperativa*.
<https://cezarate.com/la-red-cooperativa/>
56. La Voz. (Octubre, 2024). *El problema con el agua en Zárate*.
https://www.diariolavozdezarate.com/2024/10/08/el-problema-con-el-agua-en-zarate/?utm_source=chatgpt.com
57. La Voz. (Julio, 2022). *El agua es uno de los graves problemas a resolver en la ciudad*.
https://www.diariolavozdezarate.com/2022/07/29/el-agua-es-uno-de-los-graves-problemas-a-resolver-de-la-ciudad/?utm_source=chatgpt.com
58. CICACZ. (2024). *Monitoreo de agua en el curso del Río Paraná de las Palmas*.
https://www.cicacz.com.ar/aguapunt.html?utm_source=chatgpt.com
59. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. *Comisión de pesca continental*.
https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_continental/actividades/
60. CDKoT Consultores Asociados. (Diciembre, 2022). *Resumen Ejecutivo*.
ARCHROMA ARGENTINA S.A. Partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires.
https://participacionpublica.ambiente.gba.gob.ar/tmp/14_ARCHROMA_ARGENTINA_S.A._%E2%80%93_PLANTA_ZARATE.pdf
61. Silva, A., & Torres, R. (2021). *Evaluación de efluentes industriales en fábricas de vidrio en Brasil: Calidad y estrategias de tratamiento*. Journal of Environmental Engineering.
62. Rincón, P., Gutiérrez, M., & Zapata, L. (2019). *Caracterización de efluentes en la industria del vidrio en Colombia: Contaminantes y estrategias de mitigación*. Revista Ingeniería y Medio Ambiente.
63. Güell, J., López, F., & Martín, R. (2017). *Caracterización de efluentes en la industria vidriera: Alternativas de tratamiento*. Revista de Ingeniería Ambiental.
64. Russell E. Train. (1974). *Development document for effluent limitations guidelines and new source performance standard for the flat glass. Segment of the glass manufacturing*. U.S. Environmental Protection Agency.
65. Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing.



66. Judd, S. (2011). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*. Elsevier.
67. WHO (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Vol. 2.
68. USEPA (2004). *Guidelines for Water Reuse*.
69. Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.
70. Tigre Argentina. *Catálogo PEAD*.
https://tigresite.s3.amazonaws.com/2022/04/Cata%CC%81logo-Polietileno.pdf?utm_source=chatgpt.com
71. EPA (2012). *Guidelines for Water REuse*, U.S. Environmental Protection Agency.
72. OMS (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Volumen 4.
73. Asano, T. et al. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*.
74. Pérez, M. et al. (2019). *Evaluación de Tecnologías de Membranas para Reúso de Aguas Residuales*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.



12. Capítulo 13: Anexos

12.1. Anexo 1 - Capítulo 3

Anexo 1 - Tabla 1. Matriz normativa ambiental del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Unidad	Valor Medido	Rango Bibliografía
DBO ₅	mg/l	772,9	550-950 (Rincón et al., 2019; Güell et. al., 2017)
DQO	mg/l	1945,3	1300-2500 (Rincón et al., 2019; Güell et. al., 2017)
SST	mg/l	2379,3	1800-2600 (Silvia & Torres, 2021)
SSEE	mg/l	330,0	280-400 (Silvia & Torres, 2021)
pH	UpH	7,5-8,9	6,9-7,3 (Bach, 2021; Russell, 1974)
Temperatura	°C	25	19-25 (Bach, 2021; Russell, 1974)

Anexo 1 - Tabla 2. Matriz normativa ambiental del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Legislación Supranacional	
Norma	Resumen
Ley 24.295 Convención Marco sobre el Cambio Climático	Busca estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera para prevenir interferencias peligrosas con el sistema climático. Promueve la cooperación internacional y la adopción de medidas preventivas, considerando las responsabilidades comunes, pero diferenciadas de los países, así como sus capacidades y circunstancias nacionales. La Convención también fomenta la investigación, educación y sensibilización pública sobre el cambio climático.
Ley 24.375 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre la Conservación de la Biodiversidad Biológica	Su objetivo es la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos. Esta convención establece obligaciones para los países en la protección de ecosistemas, especies y recursos genéticos, fomentando la cooperación internacional, la



	<p>investigación científica, la educación ambiental y la integración de la conservación de la biodiversidad en las políticas nacionales.</p>
<p>Ley 25.438 Protocolo de Kyoto</p>	<p>Acuerdo internacional que refuerza la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El protocolo compromete a los países industrializados y a la Comunidad Europea a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un porcentaje determinado respecto a los niveles de referencia establecidos.</p>
<p>Ley 25.841 Medio Ambiente MERCOSUR</p>	<p>Busca armonizar las políticas ambientales de los Estados miembros y promover el desarrollo sostenible en la región. Este acuerdo establece directrices para la cooperación en la protección del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad, y el uso racional de los recursos naturales, integrando los aspectos ambientales en las políticas económicas y sociales del MERCOSUR.</p>
<p>Ley 26.780 Acuífero Guaraní</p>	<p>Tratado firmado por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay para la protección, conservación y gestión sostenible del Acuífero Guaraní, uno de los mayores reservorios de agua dulce subterránea del mundo. El acuerdo promueve la cooperación entre los países firmantes para garantizar el uso racional del recurso, prevenir su contaminación y degradación, y asegurar su disponibilidad para las generaciones presentes y futuras. Además, fomenta la investigación científica y el intercambio de información técnica para una gestión coordinada y equitativa del acuífero.</p>
<p>Dec. 499/17 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible</p>	<p>Establece la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en Argentina, alineando las políticas públicas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU. Este marco promueve un enfoque integral que abarca aspectos económicos, sociales y ambientales, buscando erradicar la pobreza, proteger el planeta</p>



	y asegurar la prosperidad para todos. La normativa refuerza la necesidad de una cooperación multisectorial y una gobernanza inclusiva para alcanzar las metas planteadas, fomentando la integración de los ODS en todas las áreas de gobierno.
Legislación Nacional	
Constitución Nacional Art. 41	Reconoce el derecho de todos los habitantes a disfrutar de un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano. Además, hace referencia al concepto de desarrollo sustentable y enfatiza el deber de preservarlo.
Código Civil Art. 1113	Establece la obligación de reparar los daños causados al medio ambiente y los perjuicios derivados de la contaminación sobre las personas y los bienes naturales.
Ley N° 25.675 General del Ambiente	Establece los presupuestos mínimos necesarios para lograr una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica, y la implementación del desarrollo sostenible.
Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos	Regula la generación, manipulación, transporte y tratamiento de residuos peligrosos.
Ley N° 25.688 de Gestión Ambiental de Aguas	Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
Ley N° 20.284 de Contaminación Atmosférica	Establece normas de calidad del aire que deben aplicarse a todas las fuentes capaces de producir contaminación atmosférica, tanto en jurisdicción federal como en las provincias que adhieran a ellas, impulsando la preservación atmosférica.
Ley N° 25.612 de Gestión Integral de residuos industriales y de actividades de servicio	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales y actividades de servicios.



Ley N° 19.587 de Seguridad e Higiene en el Trabajo	Regula las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo en todo el territorio de la República Argentina.
Ley N° 24.557 Riesgos del Trabajo	Sus objetivos fundamentales son la prevención de riesgos laborales y la reparación de los daños derivados del trabajo.
Ley N° 22.421 de Conservación de la Fauna	Regula la protección de la fauna silvestre que habita en el territorio nacional.
Ley N° 25.743 Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico	Preservación, protección y tutela de patrimonio cultural.
Ley N° 24.375 Convenio sobre la Diversidad Biológica	Sus objetivos son la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes, y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos. Esto se logra mediante un acceso adecuado a esos recursos, la transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, respetando todos los derechos sobre esos recursos y tecnologías, y mediante una financiación adecuada.
Legislación Provincial de Buenos Aires	
Ley N° 12.257 del Código de Aguas	Establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires.
Ley Provincial 14.179 Reserva Provincial Natural de Usos Múltiples Isla Botija	Se declara refugio de vida silvestre.
Ley N° 5.965 de Protección a las Fuentes de Provisión y	Protección a las fuentes de provisión, a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.

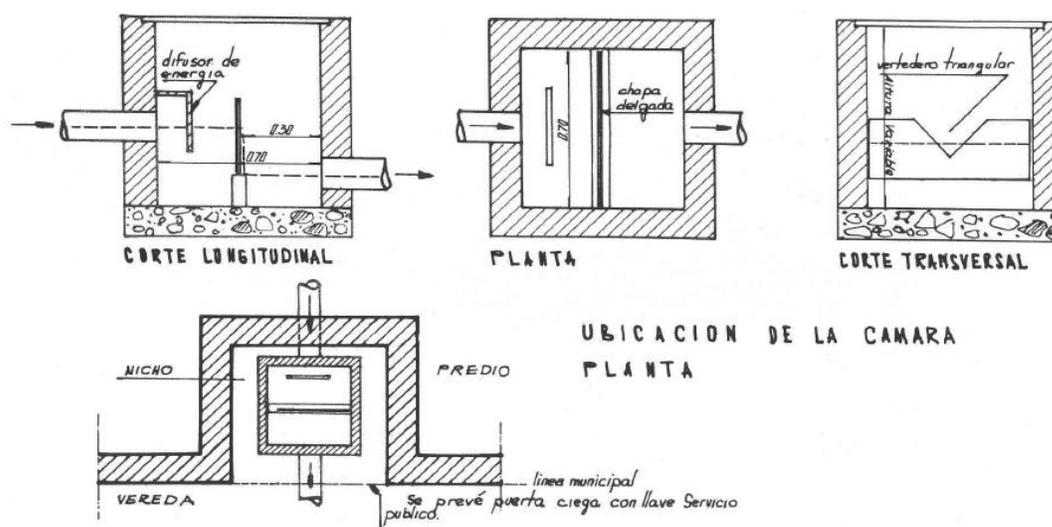


a los Cursos y Cuerpos Receptores de Agua y a la Atmósfera	
Ley N° 11.720 de Residuos Especiales	Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos especiales.
Ley N° 11.723 de Evaluación de Impacto Ambiental	La obtención de la Declaración de Impacto Ambiental es requerida para obras o actividades que puedan tener efectos adversos en el ambiente de la Provincia de Buenos Aires. Esta normativa asegura la máxima protección ambiental y promueve el desarrollo sostenible al simplificar y agilizar la evaluación ambiental de planes, programas y proyectos.
Resolución N° 336/03 Autoridad del Agua de Parámetros de Descarga Admisibles	Establece los parámetros de calidad de las descargas de los límites admisibles según el destino del vuelco.
Legislación Municipal	
Ordenanza N° 4686	Se establecen las condiciones para la clasificación y separación obligatoria en origen de los residuos sólidos urbanos del Partido de Zárate, en el marco del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PGIRSU) de Zárate.
Ordenanza N° 4365	Creación de la Reserva Natural Urbana de Zárate, con el objetivo de conservar el espacio en su estado natural y preservar la calidad de vida de los vecinos. Esto incluye los beneficios que el humedal aporta a la calidad del agua y del aire, además de servir como refugio para las especies autóctonas y la preservación de la flora y fauna. También se integra el Puerto de Isleños, Costeros y Pescadores Artesanales (solicitado en el expediente 4121-0165/14), añadiendo otro atractivo turístico a la zona.
Ordenanza N° 3971	La promoción de la industria automotriz y las empresas autopartistas en el Partido de Zárate tendrá un carácter



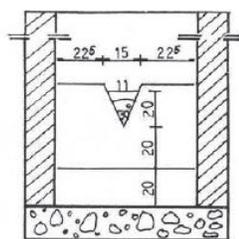
	preferente, prioritario y estratégico para el desarrollo económico de la región. Se crea un plan especial de promoción para la industria automotriz y las empresas autopartistas, tanto de combustión convencional como eléctrica.
Ordenanza N° 3125	Se aprueba el Código de Planeamiento del Partido, en el cual se han establecido nuevas zonas de preservación patrimonial, destinadas a la localización de usos administrativos, culturales y recreativos para el esparcimiento de la población, con sus respectivos indicadores y parámetros particulares.
Ordenanza N° 5095	Declárese "Patrimonio Histórico y Forestal" al arbolado público de alto valor ambiental existente. Se establece la obligatoriedad de consultar a este Honorable Cuerpo Deliberativo cualquier necesidad de obra de infraestructura urbana que requiera la remoción de los ejemplares arbóreos inventariados.

12.2. Anexo 2 - Capítulo 4

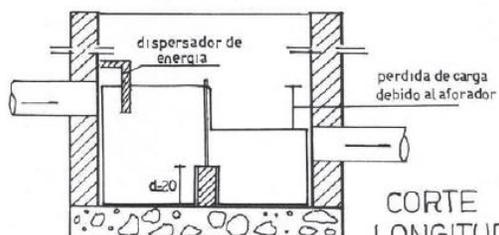


La cámara para extracción de muestras y medición de caudales para líquidos residuales industriales debe estar ubicada en la forma prevista en la planta, formando nicho interno en el predio pero, con acceso libre externo. La cámara dimensionada corresponde a las medidas mínimas, para mayores desagües debe proyectarse y dimensionarse de manera de ubicarla convenientemente para darle una velocidad prácticamente nula antes de la salida por el vertedero triangular.

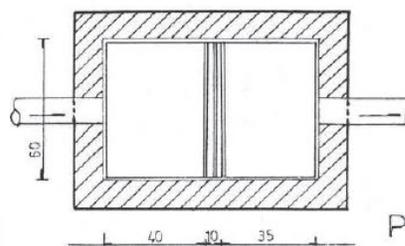
Anexo 2 - Figura 1. Cámara para extracción de muestras y medición de caudales para líquidos industriales. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



CORTE
TRANSVERSAL



CORTE
LONGITUDINAL



PLANTA

Anexo 2 - Figura 2. Cámara de extracción de muestras y medición de caudales para caudales hasta 25 m³/h. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



TABLA DE
CAUDALES

h(m)	Q m ³ /h
0.01	0.014
0.02	0.074
0.03	0.218
0.04	0.449
0.05	0.784
0.06	1.237
0.07	1.824
0.08	2.540
0.09	3.410
0.10	4.438
0.11	5.627
0.12	7.000
0.13	8.550
0.14	10.000
0.15	12.000
0.16	16.000
0.17	17.000
0.18	19.000
0.19	22.000
0.20	25.000

Anexo 2 - Figura 3. Tabla de medición de caudales hasta 25 m³/h. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

12.3. Anexo 3 - Capítulo 6

Anexo 3 - Tabla 3. Parámetros de diseño y dimensiones del sistema de rejas del efluente industrial.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /s	0,0014
Factor de forma de la barra	β	-	1,67



Espesor de las barras	w	m	0,01
Separación entre barras	b	m	0,02
Altura cinética del flujo	h_v	m	0,10
Ángulo respecto a la horizontal	θ	Grados	65
Velocidad de aproximación	v	m/s	0,05
Ancho del canal	W_c	m	0,30
Sección del canal	S_c	m	0,03
Pérdida de carga	h_L	m	0,06
Altura de salida	h_s	m	0,04
Nro. de barras	N_{bar}	-	10
Nro. de espacios	N_{esp}	-	11
Altura del canal	H_c	m	0,45
Largo de reja proyectada	L_p	m	0,20
Largo zona de aproximación	L_v	m	2,30
Largo mínimo del canal	L_m	m	2,50

Anexo 3 - Tabla 4. Parámetros de diseño y dimensiones del sistema de rejas del efluente cloacal.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m^3/s	0,0003
Factor de forma de la barra	β	-	1,67
Espesor de las barras	w	m	0,005
Separación entre barras	b	m	0,015



Altura cinética del flujo	h_v	m	0,15
Ángulo respecto a la horizontal	θ	Grados	65
Velocidad de aproximación	v	m/s	0,008
Ancho del canal	W_c	m	0,30
Sección del canal	S_c	m	0,04
Pérdida de carga	h_L	m	0,05
Altura de salida	h_s	m	0,1
Nro. de barras	N_{bar}	-	15
Nro. de espacios	N_{esp}	-	16
Altura del canal	H_c	m	0,50
Largo de reja proyectada	L_p	m	0,22
Largo zona de aproximación	L_v	m	2,80
Largo mínimo del canal	L_m	m	3,00

Anexo 3 - Tabla 5. Registro de caudal y volúmen para cada hora para los días laborables perteneciente al ecualizador primario.

Periodo (h)	Caudal medio de ingreso (m^3/h)	Vol. promedio de ingreso por hora (m^3)	Vol. acumulado de ingreso al ecualizador (m^3)	Vol. acumulado de salida del ecualizador (m^3)	ΔV
6:00-7:00	0	0,00	0	4,1	-4,1
7:00-8:00	1	4,75	1	8,1	-7,1
8:00-9:00	3	4,75	4	12,2	-8,2
9:00-10:00	3	4,75	7	16,3	-9,3
10:00-11:00	3	4,75	10	20,4	-10,4
11:00-12:00	3	4,75	13	24,4	-11,4
12:00-13:00	3	4,75	16	28,5	-12,5
13:00-14:00	8	4,75	24	32,6	-8,6
14:00-15:00	8	4,75	32	36,6	-4,6



15:00-16:00	7	4,75	39	40,7	-1,7
16:00-17:00	7	4,75	46	44,8	1,2
17:00-18:00	8	4,75	54	48,9	5,1
18:00-19:00	8	4,75	62	52,9	9,1
19:00-20:00	8	4,75	70	57,0	13,0
20:00-21:00	8	4,75	78	61,1	16,9
21:00-22:00	8	4,75	86	65,1	20,9
22:00-23:00	4	4,75	90	69,2	20,8
23:00-24:00	4	4,75	94	73,3	20,7
24:00-01:00	4	4,75	98	77,4	20,6
01:00-02:00	4	4,75	102	81,4	20,6
02:00-03:00	4	4,75	106	85,5	20,5
03:00-04:00	4	4,75	110	89,6	20,4
04:00-05:00	4	4,75	114	93,6	20,4
05:00-06:00	0	0,00	114	97,7	16,3

Anexo 3 - Tabla 6. Registro de caudal y volúmen para cada hora para los domingos perteneciente al ecualizador primario.

Periodo (h)	Caudal medio de ingreso (m³/h)	Vol. promedio de ingreso por hora (m³)	Vol. acumulado de ingreso al ecualizador (m³)	Vol. acumulado de salida del ecualizador (m³)	ΔV
6:00-7:00	0	0,0	0	4,1	-4,1
7:00-8:00	0	0,0	0	8,1	-8,1
8:00-9:00	0	0,0	0	12,2	-12,2
9:00-10:00	0	0,0	0	16,3	-16,3
10:00-11:00	0	0,0	0	20,4	-20,4
11:00-12:00	0	0,0	0	24,4	-24,4
12:00-13:00	0	0,0	0	28,5	-28,5
13:00-14:00	0	0,0	0	32,6	-32,6
14:00-15:00	0	0,0	0	36,6	-36,6
15:00-16:00	0	0,0	0	40,7	-40,7
16:00-17:00	0	0,0	0	44,8	-44,8
17:00-18:00	0	0,0	0	48,9	-48,9
18:00-19:00	0	0,0	0	52,9	-52,9
19:00-20:00	0	0,0	0	57,0	-57,0



20:00-21:00	0	0,0	0	61,1	-61,1
21:00-22:00	0	0,0	0	65,1	-65,1
22:00-23:00	0	0,0	0	69,2	-69,2
23:00-24:00	0	0,0	0	73,3	-73,3
24:00-01:00	0	0,0	0	77,4	-77,4
01:00-02:00	0	0,0	0	81,4	-81,4
02:00-03:00	0	0,0	0	85,5	-85,5
03:00-04:00	0	0,0	0	89,6	-89,6
04:00-05:00	0	0,0	0	93,6	-93,6
05:00-06:00	0	0,0	0	97,7	-97,7

Anexo 3 - Tabla 7. Verificación del volumen del ecualizador primario para cada periodo en una semana.

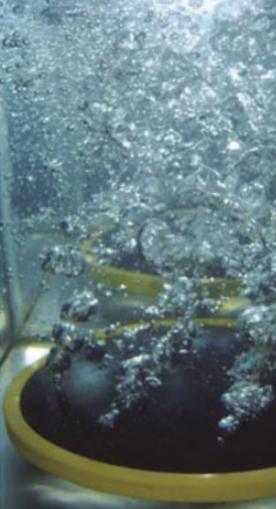
Periodo (h)	Volumen en ecualizador primario						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6:00-7:00	50,0	66,3	82,6	98,8	115,1	131,4	147,7
7:00-8:00	46,9	63,2	79,5	95,8	112,1	128,3	143,6
8:00-9:00	45,8	62,1	78,4	94,7	111,0	127,3	139,6
9:00-10:00	44,8	61,1	77,3	93,6	109,9	126,2	135,5
10:00-11:00	43,7	60,0	76,3	92,6	108,8	125,1	131,4
11:00-12:00	42,6	58,9	75,2	91,5	107,8	124,1	127,3
12:00-13:00	41,6	57,8	74,1	90,4	106,7	123,0	123,3
13:00-14:00	45,5	61,8	78,1	94,3	110,6	126,9	119,2
14:00-15:00	49,4	65,7	82,0	98,3	114,6	130,8	115,1
15:00-16:00	52,3	68,6	84,9	101,2	117,5	133,8	111,1
16:00-17:00	55,3	71,6	87,8	104,1	120,4	136,7	107,0
17:00-18:00	59,2	75,5	91,8	108,1	124,3	140,6	102,9
18:00-19:00	63,1	79,4	95,7	112,0	128,3	144,6	98,8
19:00-20:00	67,1	83,3	99,6	115,9	132,2	148,5	94,8
20:00-21:00	71,0	87,3	103,6	119,8	136,1	152,4	90,7
21:00-22:00	74,9	91,2	107,5	123,8	140,1	156,3	86,6
22:00-23:00	74,8	91,1	107,4	123,7	140,0	156,3	82,6
23:00-24:00	74,8	91,1	107,3	123,6	139,9	156,2	78,5
24:00-01:00	74,7	91,0	107,3	123,6	139,8	156,1	74,4



01:00-02:00	74,6	90,9	107,2	123,5	139,8	156,1	70,3
02:00-03:00	74,6	90,8	107,1	123,4	139,7	156,0	66,3
03:00-04:00	74,5	90,8	107,1	123,3	139,6	155,9	62,2
04:00-05:00	74,4	90,7	107,0	123,3	139,6	155,8	58,1
05:00-06:00	70,3	86,6	102,9	119,2	135,5	151,8	54,1

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 3 - Figura 4. Ficha técnica difusores de burbuja gruesa Repicky. Fuente: Repicky.

Modelo	RPM	100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
		Q m ³ /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		

Anexo 3 - Figura 5. Ficha técnica sopladores. Fuente: Repicky.

Anexo 3 - Tabla 8. Parámetros y dimensiones de la cámara de equalización primario, difusores y sopladores de aire.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
-----------	---------	--------	-------



Cámara de Ecuación			
Caudal medio	Q	m^3/h	4,75
Caudal de salida	Q_{salida}	m^3/h	4,1
Volúmen del tanque	v	m^3	162
Altura	h	m	4,5
Altura total del tanque	H	m	5
Diámetro	d	m	6
Área	a	m^2	36
Difusores			
Requerimiento de aire	R_{aire}	$\frac{m^3_{aire}}{m^3_{reactor} * min}$	0,015
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	m^3/h	10
Caudal de aire	Q_{aire}	m^3/h	194,6
Cantidad de difusores	Dif.	Nro.	20
Densidad de difusores	$\rho_{Dif.}$	$\frac{difusores}{m^2}$	0,55
Sopladores			
Diferencia de presión	Δp	mbar	500
Revoluciones por minuto	rpm	rpm	4500
Potencia	P	hp	5,8
Caudal de aire del soplador	$Q_{aire\ soplador}$	m^3/h	215
Cantidad de sopladores	Sop.	Nro.	2

Anexo 3 - Tabla 9. Registro de caudal y volúmen para cada hora para los días laborables perteneciente al ecualizador secundario.



Periodo (h)	Caudal medio de ingreso (m ³ /h)	Vol. promedio de ingreso por hora (m ³)	Vol. acumulado de ingreso al equalizador (m ³)	Vol. acumulado de salida del equalizador (m ³)	ΔV
6:00-7:00	4,1	5,3	4,1	5,1	-1,0
7:00-8:00	5,3	5,3	9,4	10,3	-0,9
8:00-9:00	5,3	5,3	14,7	15,4	-0,7
9:00-10:00	5,3	5,3	20,1	20,6	-0,5
10:00-11:00	5,3	5,3	25,4	25,7	-0,3
11:00-12:00	5,3	5,3	30,7	30,8	-0,1
12:00-13:00	5,3	5,3	36,0	36,0	0,0
13:00-14:00	5,3	5,3	41,3	41,1	0,2
14:00-15:00	5,3	5,3	46,6	46,3	0,4
15:00-16:00	5,3	5,3	52,0	51,4	0,6
16:00-17:00	5,3	5,3	57,3	56,5	0,7
17:00-18:00	5,3	5,3	62,6	61,7	0,9
18:00-19:00	5,3	5,3	67,9	66,8	1,1
19:00-20:00	5,3	5,3	73,2	72,0	1,3
20:00-21:00	5,3	5,3	78,5	77,1	1,5
21:00-22:00	5,3	5,3	83,9	82,2	1,6
22:00-23:00	5,3	5,3	89,2	87,4	1,8
23:00-24:00	5,3	5,3	94,5	92,5	2,0
24:00-01:00	5,3	5,3	99,8	97,6	2,2
01:00-02:00	5,3	5,3	105,1	102,8	2,3
02:00-03:00	5,3	5,3	110,4	107,9	2,5
03:00-04:00	5,3	5,3	115,8	113,1	2,7
04:00-05:00	5,3	5,3	121,1	118,2	2,9
05:00-06:00	5,3	5,3	126,4	123,3	3,1

Anexo 3 - Tabla 10. Registro de caudal y volúmen para cada hora para los domingos perteneciente al equalizador secundario.

Periodo (h)	Caudal medio de ingreso (m ³ /h)	Vol. promedio de ingreso por hora (m ³)	Vol. acumulado de ingreso al equalizador (m ³)	Vol. acumulado de salida del equalizador (m ³)	ΔV
6:00-7:00	4,1	4,1	4,1	5,1	-1,0
7:00-8:00	4,1	4,1	8,2	10,3	-2,1



8:00-9:00	4,1	4,1	12,3	15,4	-3,1
9:00-10:00	4,1	4,1	16,4	20,6	-4,2
10:00-11:00	4,1	4,1	20,5	25,7	-5,2
11:00-12:00	4,1	4,1	24,6	30,8	-6,2
12:00-13:00	4,1	4,1	28,7	36,0	-7,3
13:00-14:00	4,1	4,1	32,8	41,1	-8,3
14:00-15:00	4,1	4,1	36,9	46,3	-9,4
15:00-16:00	4,1	4,1	41	51,4	-10,4
16:00-17:00	4,1	4,1	45,1	56,5	-11,4
17:00-18:00	4,1	4,1	49,2	61,7	-12,5
18:00-19:00	4,1	4,1	53,3	66,8	-13,5
19:00-20:00	4,1	4,1	57,4	72,0	-14,6
20:00-21:00	4,1	4,1	61,5	77,1	-15,6
21:00-22:00	4,1	4,1	65,6	82,2	-16,6
22:00-23:00	4,1	4,1	69,7	87,4	-17,7
23:00-24:00	4,1	4,1	73,8	92,5	-18,7
24:00-01:00	4,1	4,1	77,9	97,6	-19,7
01:00-02:00	4,1	4,1	82	102,8	-20,8
02:00-03:00	4,1	4,1	86,1	107,9	-21,8
03:00-04:00	4,1	4,1	90,2	113,1	-22,9
04:00-05:00	4,1	4,1	94,3	118,2	-23,9
05:00-06:00	4,1	4,1	98,4	123,3	-24,9

Anexo 3 - Tabla 11. Verificación del volumen del ecualizador secundario para cada periodo en una semana.

Periodo (h)	Volumen en ecualizador primario						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6:00-7:00	11,0	14,0	17,1	20,2	23,2	26,3	29,3
7:00-8:00	11,2	14,2	17,3	20,3	23,4	26,4	28,3
8:00-9:00	11,3	14,4	17,5	20,5	23,6	26,6	27,2
9:00-10:00	11,5	14,6	17,6	20,7	23,7	26,8	26,2
10:00-11:00	11,7	14,8	17,8	20,9	23,9	27,0	25,2
11:00-12:00	11,9	14,9	18,0	21,0	24,1	27,2	24,1
12:00-13:00	12,1	15,1	18,2	21,2	24,3	27,3	23,1



13:00-14:00	12,2	15,3	18,3	21,4	24,5	27,5	22,0
14:00-15:00	12,4	15,5	18,5	21,6	24,6	27,7	21,0
15:00-16:00	12,6	15,6	18,7	21,8	24,8	27,9	20,0
16:00-17:00	12,8	15,8	18,9	21,9	25,0	28,0	18,9
17:00-18:00	12,9	16,0	19,1	22,1	25,2	28,2	17,9
18:00-19:00	13,1	16,2	19,2	22,3	25,3	28,4	16,8
19:00-20:00	13,3	16,4	19,4	22,5	25,5	28,6	15,8
20:00-21:00	13,5	16,5	19,6	22,6	25,7	28,8	14,8
21:00-22:00	13,7	16,7	19,8	22,8	25,9	28,9	13,7
22:00-23:00	13,8	16,9	19,9	23,0	26,1	29,1	12,7
23:00-24:00	14,0	17,1	20,1	23,2	26,2	29,3	11,6
24:00-01:00	14,2	17,2	20,3	23,4	26,4	29,5	10,6
01:00-02:00	14,4	17,4	20,5	23,5	26,6	29,6	9,6
02:00-03:00	14,6	17,6	20,7	23,7	26,8	29,8	8,5
03:00-04:00	14,7	17,8	20,8	23,9	26,9	30,0	7,5
04:00-05:00	14,9	18,0	21,0	24,1	27,1	30,2	6,5
05:00-06:00	15,1	18,1	21,2	24,2	27,3	30,4	5,4

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	

Anexo 3 - Figura 6. Ficha técnica difusores de burbuja fina. Fuente: Repicky.

Anexo - Tabla 12. Parámetros y dimensiones de la cámara de equalización secundaria, difusores y sopladores de aire.



Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Cámara de Ecuación			
Caudal medio	Q	m^3/h	5,3
Caudal de salida	Q_{salida}	m^3/h	5,1
Volúmen del tanque	v	m^3	36
Altura	h	m	3
Diámetro	d	m	2
Área	a	m^2	12
Difusores			
Requerimiento de aire	R_{aire}	$\frac{m^3_{aire}}{m^3_{reactor} * min}$	0,015
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	m^3/h	5,7
Caudal de aire	Q_{aire}	m^3/h	43,3
Cantidad de difusores	Dif.	Nro.	12
Densidad de difusores	$\rho_{Dif.}$	$\frac{difusores}{m^2}$	1
Sopladores			
Diferencia de presión	Δp	mbar	400
Revoluciones por minuto	rpm	rpm	2900
Potencia	P	hp	1,6
Caudal de aire del soplador	$Q_{aire\ soplador}$	m^3/h	57,9
Cantidad de sopladores	Sop.	Nro.	2

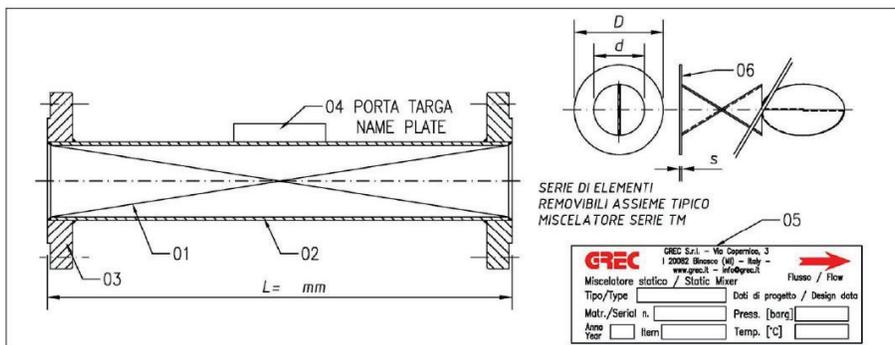


Agitatori Miscelatori Dispensori

GREC Srl
Via Copernico, 3
20082 Binasco (MI) - ITALY
Tel +39 02 36645050
info@grec.it
www.grec.it

STATIC MIXER SERIES TM-R – TURBULENT REGIME

Model: TM4/6-R-DN25 ÷ 80PN16	Rev	Data	Fatto	Verif	Appr.
	0	01/10/12	MF	MM	MM



POS	Q.ty	Description	Material
01	4 / 6	REMOVABLE MIXING ELEMENTS TIPE TM DN	AISI 304
02	1	PIPE DN	AISI 304
03	2	FLANGE DN	AISI 304
04	1	NAME PLATE SUPPORT	AISI 304
05	1	NAME PLATE	AISI

Design code	ASME VIII Div 1	Design temperature	-20° + 150°C
Connection	EN 1092-1	Design pressure	12 bar
Length (L)	See table L (mm)	Material	SS 304
Efficiency	> 95%	Pressure drop	Max 0,5 bar

Note:

PROCESS DATA			
No. Mixing elements	Viscosity ratio μ_1/μ_2	Density ratio SG1/SG2	Flow rate ratio Q1/Q2
4	< 1:2000	< 1:10	< 1:250
6			< 1:1000

PIPE DN	FLOW RATE		LENGHT L (mm)				D	d	s	Note
	Q min (m³/h)	Q max (m³/h)	4 EL	CODE	6 EL	CODE				
25	0,25	4	180		260		68	22	3	
40	0,45	9	260		390		88	36	3	
50	1,2	15	330		490		102	48	3	
65	1,5	22	420		620		120	58	3	
80	1,8	33	515		760		130	74	3	

Anexo 3 - Figura 7. Ficha técnica mezclador estático. Fuente: Grec.

Anexo 3 - Tabla 13. Parámetros y dimensiones del coagulador estático.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
-----------	---------	--------	-------



Caudal de ingreso	Q	m ³ /h	4,1
Tiempo de permanencia	t_p	segundos	5
Volúmen del mezclador	V	m ³	0,006
Diámetro interno	D_i	m	0,073
Diámetro externo	D_e	m	0,13
Área transversal del mezclador	A_t	m ²	0,004
Longitud total	l	m	1,4
Caída de presión máxima	Δp	bar	0,5

Anexo 3 - Tabla 14. Parámetros y dimensiones de la cámara de floculación y turbina.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Cámara de floculación			
Caudal	Q	m ³ /h	4,1
Tiempo de permanencia	t_p	minutos	30
Gradiente de velocidad	G	s ⁻¹	27,8
Volúmen del floculador	V_f	m ³	2
Diámetro del floculador	D_f	m	1,4
Altura pelo del efluente	H	m	1,4
Altura total	H_t	m	1,7
Turbina			
Diámetro de turbina	D	m	0,5
Altura de turbina	h	m	0,5
Ancho de paleta	W	m	0,06
Largo de paleta	B	m	0,11
Ancho de deflectores	l	m	0,11
Número de potencia	k	-	0,75



Potencia disipada	P	Watt	1,58
Rotaciones por segundo	n	rps	0,47

Anexo 3 - Tabla 15. Parámetros y dimensiones del tanque, la tolva y sedimentador primario.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /d	98,4
Carga superficial	Cs	m ³ /m ² *d	30
Tiempo de permanencia	tp	horas	2
Tanque			
Área superficial	As	m ²	3,3
Diámetro	Ds	m	2
Altura	H	m	2,5
Volumen	Vs	m ³	8,2
Tolva			
Ángulo externo	α	grados	60
Diámetro	d	m	0,3
Altura	h	m	1,3
Volumen	Vt	m ³	2,6
Sedimentador			
Altura	H _T	m	3,8
Volumen	V _T	m ³	10,8

Anexo 3 - Tabla 16. Parámetros y dimensiones de la zona de entrada del sedimentador primario.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de paso en orificios	vp	m/s	0,35
Área de paso	Ap	m ²	0,003
Diámetro del orificio	Do	m	0,01



Cantidad de orificios	No	unidad	40
Columnas	Co	unidad	4
Filas	Fo	unidad	10
Separación horizontal entre orificios	Sh	m	0,3
Separación vertical entre orificios	Sv	m	0,1
Altura de la zona de entrada	He	m	1
Diámetro de la zona de entrada	De	m	0,4
Diámetro de campana	Ca	m	0,7
Altura de campana	Ha	m	1,5

Anexo 3 - Tabla 17. Parámetros y dimensiones de la zona de salida del sedimentador primario.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo del vertedero	θ	grados	90
Caudal de salida del vertedero	Q_v	m ³ /seg	0,0001
Cantidad de vertederos	N_v	unidad	8
Altura del vertedero	h_v'	m	0,04
Ancho del vertedero	W_v	m	0,1
Longitud útil del vertedero	L_v	m	0,7
Perímetro del sedimentador	P	m	6,4
Espacio entre vertederos	E_v	m	0,7
Velocidad del canal	V_c	m/s	0,02
Área del canal	A_c	m ²	0,06
Ancho del canal	W_c	m	0,3
Altura pared interna	h_i	m	0,2
Altura pared externa	h_e	m	0,4
Pendiente	S	m	0,003

Anexo 3 - Tabla 18. Parámetros y dimensiones del tanque de lodos activos (Alternativa A).



Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de entrada	Q_0	m ³ /d	122,4
Caudal de purga	Q_p	m ³ /d	1,9
Caudal de salida	Q_s	m ³ /d	120,5
Caudal de reciclo	Q_r	m ³ /d	118,7
Concentración de microorganismos en el reactor	X	mg/l	4000
Concentración de microorganismos inicial	X_0	mg/l	0
Concentración de microorganismos en la salida	X_s	mg/l	0
Concentración de microorganismos en la purga	X_p	mg/l	8000
Concentración de microorganismos en el reciclo	X_r	mg/l	8000
Concentración de sustrato de entrada	S_0	mg/l	445
Concentración de sustrato	S	mg/l	10
Tasa de utilización de sustrato de microorganismos	K	d ⁻¹	2,6
Constante de saturación media	K_s	mg/l	80
Coefficiente de descomposición endógena	K_d	mg/l	0,06
Tiempo de retención celular	θ_c	d	12,5
Tiempo de retención hidráulico	θ	h	9,1
Coefficiente de producción	Y	-	0,49
Velocidad de crecimiento	μ_{max}	d ⁻¹	1,26
Relación sustrato/microorganismo	F/M	d ⁻¹	0,29
Carga volumétrica	C_v	kg _{DBO} /m ³ *d	1,2
Volumen del tanque	V	m ³	47
Altura del tanque	H	m	4
Área superficial del tanque	A	m ²	12
Diámetro del tanque	D	m	4
Eficiencia de remoción de DBO	Eff	%	97,8

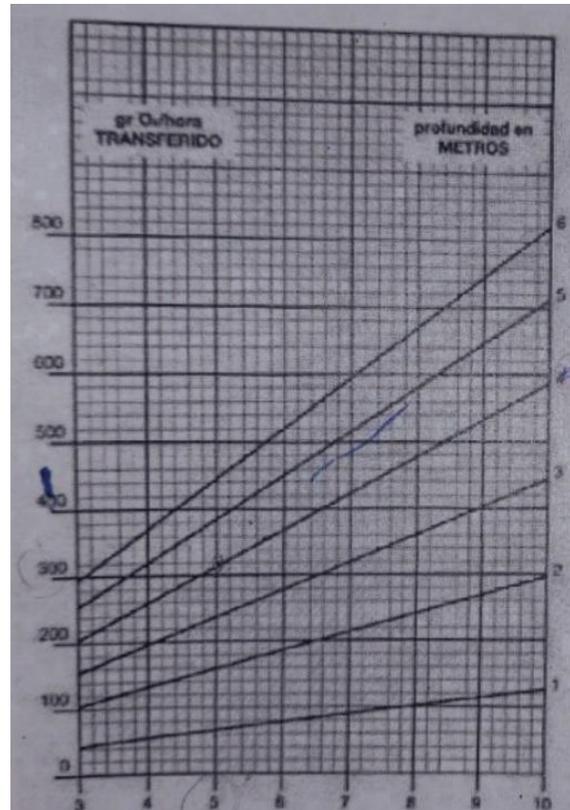


Temp. °C	Solubility mg/L	Temp. °C	Solubility mg/L	Temp. °C	Solubility mg/L
0	14.62	16	9.87	32	7.31
1	14.22	17	9.67	33	7.18
2	13.83	18	9.47	34	7.07
3	13.46	19	9.28	35	6.95
4	13.11	20	9.09	36	6.84
5	12.77	21	8.92	37	6.73
6	12.45	22	8.74	38	6.62
7	12.14	23	8.58	39	6.52
8	11.84	24	8.42	40	6.41
9	11.56	25	8.26	41	6.31
10	11.29	26	8.11	42	6.21
11	11.03	27	7.97	43	6.12
12	10.78	28	7.83	44	6.02
13	10.54	29	7.69	45	5.93
14	10.31	30	7.56	46	5.84
15	10.08	31	7.43	47	5.74

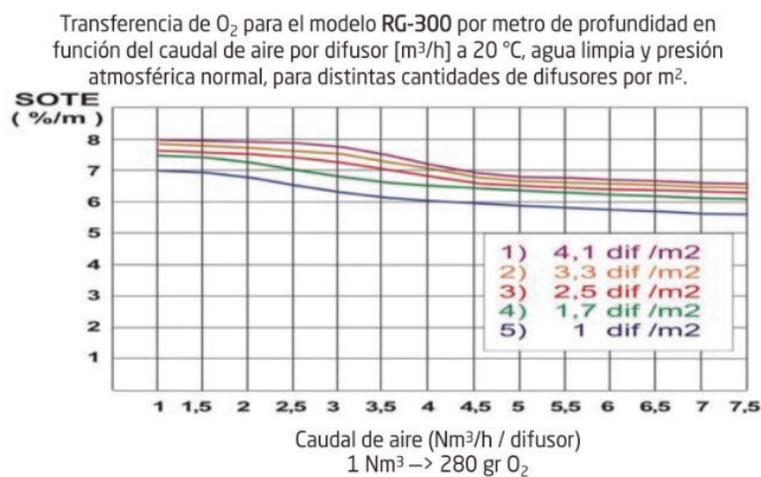
Anexo 3 - Figura 8. Solubilidad del oxígeno en agua expuesta a agua con aire saturado a una presión de 1 atm. Fuente: Cátedra de Diseños Biológicos.

Pressure inches Hg	mm Hg	kPa	Altitude Ft.	m	Calibration Value (%)
30.23	768	102.3	-276	-84	101
29.92	760	101.3	0	0	100
29.61	752	100.3	278	85	99
29.33	745	99.3	558	170	98
29.02	737	98.3	841	256	97
28.74	730	97.3	1126	343	96
28.43	722	96.3	1413	431	95
28.11	714	95.2	1703	519	94
27.83	707	94.2	1995	608	93
27.52	699	93.2	2290	698	92
27.24	692	92.2	2587	789	91
26.93	684	91.2	2887	880	90

Anexo 3 - Figura 9. Solubilidad del oxígeno en agua expuesta a agua con aire saturado a una presión de 1 atm. Fuente: Cátedra de Diseños Biológicos.



Anexo 3 - Figura 10. Capacidad de transferencia de O_2 en condiciones estándar, en función de la profundidad y del caudal de aire para un difusor por m^2 . Fuente: Cátedra de Diseños Biológicos.



Anexo 3 - Figura 11. Transferencia de O_2 en % por metro de profundidad en función del caudal de aire. Fuente: Proveedor Repicky.



Anexo 3 -Tabla 19. Parámetros y dimensiones del sistema de aireación (Alternativa A).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño de difusores	$Q_{\text{diseño}}$	Nm ³ /h	5
Capacidad de transferencia de O ₂	CTransf _{O₂}	g O ₂ /h	320
Eficiencia de transferencia por metro de profundidad	SOTE	%	6,4
Caudal de O ₂ transferido	Q _{O₂}	Nm ³ /h	58
Cantidad de difusores	Dif	número	20
Densidad de difusores	ρ_{difusor}	Dif/m ²	1,7
Transferencia de oxígeno	Transf _{O₂}	kg _{O₂} /día	152,1
Caudal de O ₂ suministrado por cada soplador	Q _{O₂ soplador}	m ³ /h	168
Soplador	Sop	número	2

Anexo 3 -Tabla 20. Parámetros y dimensiones de la zona de sedimentación y de lodos del sedimentador secundario (Alternativa A).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de entrada	Q_0+Q_r	m ³ /d	241,1
Carga superficial	C _S	m ³ /m ² d	25,1
Área superficial	A _S	m ²	9,6
Tiempo de permanencia	t _p	h	3,4
Diámetro mayor	D	m	3,5
Volumen de zona de sedimentación	V _s	m ³	33,7
Altura de zona de sedimentación	H	m	3,5
Ángulo externo	α	Grados	60
Diámetro menor	d	m	0,6
Altura de tolva	H _t	m	2
Volumen de tolva	V _t	m ³	10,9
Volumen total del sedimentador	V _T	m ³	44,6
Altura total del sedimentador	H _T	m	5,5



Carga de sólidos	C_{sol}	kg SST/m ² h	5
------------------	-----------	-------------------------	---

Anexo 3 -Tabla 21. Parámetros y dimensiones de la zona de entrada del sedimentador secundario (Alternativa A).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Diámetro de campana	Ca	m	1,1
Altura de campana	Ha	m	1,5

Anexo 3 -Tabla 22. Parámetros y dimensiones de la zona de salida del sedimentador secundario (Alternativa A).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de salida por vertedero	Q_v	m ³ /s	0,0001
Ángulo del vertedero	θ	Grados	90
Número de vertederos	N_v	número	20
Altura real del vertedero	$h_{v\ real}$	m	0,04
Ancho real del vertedero	W_v	m	0,13
Longitud de vertederos	L_v	m	2,6
Perímetro del sedimentador	P	m	11
Espacio entre vertederos	E_v	m	0,41
Velocidad en canal	V_c	m/s	0,02
Área del canal	A_c	m ²	0,14
Ancho del canal	W_c	m	0,3
Altura pared interna	h_i	m	0,5
Altura pared externa	h_e	m	0,7
Pendiente	S	m	0,003

Anexo 3 -Tabla 23. Variables definidas por bibliografía y ficha técnica del relleno seleccionado para el diseño del lecho (Alternativa B).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Constante de velocidad a 25°C	$K_{25^\circ C}$	m/d	0,11



Porcentaje de remoción de DBO	μ	%	83
Factor de recirculación	α	-	1
Altura del lecho percolador	Z	m	4

MINI-WIND SOPORTE DE RELLENO PARA PERCOLADORAS

MINI-WIND es una moderna unidad de relleno a granel. Este relleno ha estado desarrollado y experimentado para su aplicación en lechos percoladores.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

Forma	Circular
Medida	70 mm
Superficie específica	aprox. 200 mq/mc
Pezzi M3	6300
Índice de vacío	aprox. 95%
Peso en seco	41 kg mc
Peso durante el uso	aprox. 400kg / M3
Materiales	polipropileno isotáctico negro

Anexo 3 - Figura 12. Ficha técnica de soporte de relleno percolador. Fuente: ECOPLAST.

Anexo 3 - Tabla 24. Parámetros y dimensiones del lecho percolador (Alternativa B).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Temperatura del efluente	T	°C	25
DBO que ingresa	S_0	mg/l	445
DBO que egresa	S_e	mg/l	75,7
DBO en el lecho percolador	S_i	mg/l	260,3
Superficie específica del relleno seleccionado	S_a	m ² /m ³	200
Caudal de ingreso	Q	m ³ /d	122,4
Caudal total	Q_T	m ³ /d	244,8
Volumen del lecho	V	m ³	19,7
Altura del lecho	Z	m	4
Diámetro del lecho	D	m	2,5
Área superficial del lecho	A	m ²	4,9



Carga hidráulica	C_H	m^3/m^2*d	49,7
Carga orgánica	COV	kg DBO/ m^3*d	3,2
Número de brazos	a	unidad	4
Velocidad de giro de operación	n_{op}	rpm	3,2
Velocidad de giro de lavado	n_{lav}	rpm	0,5
Número de ventanas	N_V	unidad	5
Área por ventada	a_V	m^2	0,1
Largo de ventana	L_V	m	1
Alto de ventana	h_V	m	0,1
Alto total del lecho percolador	H_T	m	4,1

Anexo 3 -Tabla 25. Parámetros y dimensiones de la zona de sedimentación y de lodos del sedimentador secundario (Alternativa B).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de entrada	Q_0+Q_r	m^3/d	244,8
Carga superficial	C_s	m^3/m^2d	34,6
Área superficial	A_s	m^2	7,1
Tiempo de permanencia	t_p	h	2,4
Diámetro mayor	D	m	3
Volumen de zona de sedimentación	V_s	m^3	24,7
Altura de zona de sedimentación	H	m	3,5
Ángulo externo	α	Grados	60
Diámetro menor	D_i	m	0,6
Altura de tolva	H_t	m	1,6
Volumen de tolva	V_t	m^3	3,5
Volumen total del sedimentador	V_T	m^3	28,3
Altura total del sedimentador	H_T	m	5,1
Carga de sólidos	C_{sol}	kg SST/ m^2h	4



Anexo 3 - Tabla 26. Parámetros y dimensiones de la zona de entrada del sedimentador secundario (Alternativa B).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Diámetro de campana	Ca	m	0,9
Altura de campana	Ha	m	1,5

Anexo 3 - Tabla 27. Parámetros y dimensiones de la zona de salida del sedimentador secundario (Alternativa B).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo del vertedero	θ	Grados	90
Caudal de salida por vertedero	Q_v	m ³ /s	0,0001
Número de vertederos	N_v	número	21
Altura real del vertedero	$h_{v \text{ real}}$	m	0,04
Ancho real del vertedero	W_v	m	0,13
Longitud de vertederos	L_v	m	2,7
Perímetro del sedimentador	P	m	9,4
Espacio entre vertederos	E	m	0,3
Velocidad en canal	V_c	m/s	0,02
Área del canal	A_c	m ²	0,1
Ancho del canal	W_c	m	0,3
Altura pared interna	h_i	m	0,5
Altura pared externa	h_e	m	0,7
Pendiente	S	m	0,003

Anexo 3 - Tabla 28. Características de la unidad MBR seleccionada. Fuente: Aeration Argentina.

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo	m ³ /dm ²	>0,3
pH	UpH	1-11
Tamaño de poro mínimo	um	0,2



Tamaño de poro máximo	um	0,4
Limpieza química	-	1 a 3 por año
Material	-	PVDF
Membranas	-	Placa plana

Anexo 3 - Tabla 29. Parámetros y dimensiones de MBR (Alternativa C).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Concentración de microorganismos en el reactor	X	mg/l	10.000
Tasa máxima de utilización de sustrato	K	d ⁻¹	2,1
Constante de saturación media	K _S	mg/l	80
Coefficiente de descomposición endógena	K _d	mg/l	0,06
Tiempo de retención hidráulico	θ	h	5
Tiempo de retención celular	θ _c	d	15,1
Coefficiente de producción máxima	Y	-	0,6
Tasa máxima de crecimiento específico	U _{max}	d ⁻¹	1,26
Relación Sustrato/Microorganismos	F/M	d ⁻¹	0,2
Concentración de sustrato de entrada	S ₀	mg/l	445
Concentración de sustrato de salida	S	mg/l	8,9
Volumen del tanque	V	m ³	25
Altura del tanque	H	m	4
Área del tanque	A	m ²	6
Largo del tanque	L	m	3
Ancho del tanque	B	m	2,1

Anexo 3 - Tabla 30. Parámetros y dimensiones del sistema de aireación (Alternativa C).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Requerimiento de oxígeno	RO	kg O ₂ /d	58,3
Requerimiento de oxígeno estándar	SOR	kg O ₂ /d	95,7



Caudal de diseño de difusores	$Q_{\text{diseño}}$	Nm ³ /h	5
Capacidad de transferencia de O ₂	C _{Transf_{O2}}	g O ₂ /h	380
Eficiencia de transferencia por metro de profundidad	SOTE	%	6,4
Caudal de O ₂ transferido	Q_{O_2}	Nm ³ /h	55,6
Cantidad de difusores	Dif	número	12
Densidad de difusores	ρ_{difusor}	Dif/m ²	1,7
Transferencia de oxígeno	Transf _{O2}	kg _{O2} /día	109,4
Caudal de O ₂ suministrado por cada soplador	$Q_{O_2 \text{ soplador}}$	m ³ /h	118
Soplador	Sop	número	2

Anexo 3 - Tabla 31. Parámetros y dimensiones de cámara de cloración.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	
			Alternativa A	Alternativa B
Caudal de ingreso	Q	m ³ /d	120,5	111,5
Dosis de cloro diaria	d _{Cl}	kg/d	0,12	0,11
Tiempo de contacto	t _c	min	30	
Concentración coliformes inicial	N ₀	UFC/100ml	1.000	
Concentración coliformes final	N	UFC/100ml	2	
Concentración de cloro	C _{Cl}	mg/l	1	1
Volumen de la cámara	V	m ³	2,5	2,3
Altura de la cámara total	h _T	m	1,7	1,7
Área de la cámara	A	m ²	1,7	1,5
Ancho de la cámara	W	m	4	4
Ancho de cada canal	L	m	0,1	0,1
Largo de la cámara	B	m	1	1
Espesor de tabiques	W _t	m	0,05	0,05
Cantidad de tabiques	N _t	unidad	6	6



Anexo 3 - Tabla 32. Parámetros y dimensiones de cámara toma muestra.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo de la regla	α	Grados	30
Altura de base del vertedero	p	m	0,5
Ancho del canal	B	m	0,8
Largo mínimo del canal	L	m	1,1
Distancia mínima de la regla	L_h	m	0,5
Altura mínima del canal	H_{\min}	m	0,8

H (cm)	Q (m ³ /h)
20	23,90
19	21,06
18	18,43
17	16,00
16	13,78
15	11,75
14	9,91
13	8,25
12	6,77
11	5,46
10	4,31
9	3,33
8	2,49
7	1,79
6	1,22
5	0,78
4	0,45
3	0,22
2	0,08
1	0,01
0	0,00



Anexo 3 - Figura 13. Regla diseñada para la medición rápida y control de caudales.

Proceso	% humedad del lodo		Densidad relativa	
	Intervalo	Típico	Sólidos	Lodo
Sedimentación primaria	88 - 96	95	1,4	1,02
Filtro percolador	91 - 95	93	1,5	1,025
Precipitación química	-	93	1,7	1,03
Lodos activados	90 - 93	92	1,3	1,005
Tanques sépticos	-	93	1,7	1,03
Tanques Imhoff	90 - 95	90	1,6	1,04
Aireación prolongada	88 - 92	90	1,3	1,015
Lodo primario digerido anaerobiamente	90 - 95	93	1,4	1,02
Laguna aireada	88 - 92	90	1,3	1,01
Lodo primario digerido aerobiamente	93 - 97	96	1,4	1,012

Anexo 3 - Figura 14. Características de los lodos para cada unidad de proceso. Fuente: Romero Rojas, J.

Anexo 3 -Tabla 32. Parámetros y generación de lodos en cada unidad.

Unidad de Tratamiento	Caudal (m ³ /d)	SST (mg/l)	Eff (%)	M _L (kg/d)	S _L	S _s (kg/m ³)	H (%)	P _s	P _A	V _L (m ³ /d)
Rejas finas Ef. Ind.	120	2379,3	5	14,3	1,04	1,4	88	0,12	0,88	0,12
Rejas finas Ef. Cloacal	30	300	5	0,5	1,04	1,4	88	0,12	0,88	0,004
Coagulación y Floculación	98,4	2260,3	92	203,7	1,04	1,7	93	0,07	0,93	2,83
Sedimentador Primario	98,4	190,3	50	9,4	1,02	1,7	95	0,05	0,95	0,18
Lodos Activos	110,4	141,5	97	15,2	1,02	1,3	92	0,08	0,92	0,21
Lecho Percolador	110,4	141,5	97	15,2	1,03	1,5	93	0,07	0,93	0,23
MBR	110,4	141,5	98	15,3	1,01	1,4	92	0,08	0,80	0,08



Tipo de lodo	Concentración de sólidos del lodo aplicado, %	Concentración esperada de sólidos del lodo espesado, %	Carga superficial de sólidos $\text{kg/m}^2 \text{ d}$
Lodo primario	2 - 7	5 - 10	100 - 150
Lodo activado	0,5 - 1,5	2 - 3	20 - 40
Filtro percolador	1 - 4	3 - 6	40 - 50
Biodiscos	1 - 3,5	2 - 5	35 - 50
Digerido anaerobiamente	8	12	120
Primario + activado	0,5 - 4	4 - 7	25 - 80
Primario + filtro percolador	2 - 6	5 - 9	60 - 100
Primario + biodiscos	2 - 6	5 - 8	50 - 85
Primario + hierro	2	4	30
Primario + cal	5 - 7,5	7 - 12	100 - 120
Primario + lodo activado + hierro	1,5	3	30
Primario + lodo activado + alumbre	0,2 - 0,4	4,5 - 6,5	60 - 80
Lodo activado + filtro percolador	0,5 - 2,5	2 - 4	20 - 35

Anexo 3 - Figura 15. Cargas máxicas para espesadores por gravedad. Fuente: Romero Rojas, J.

Anexo 3 - Tabla 33. Parámetros y dimensiones del espesador de lodos.

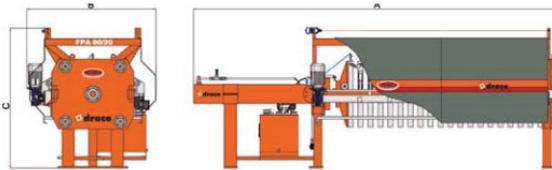
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Masa de lodo total	MLT	kg/d	244
Carga superficial de sólidos	C_s	$\text{kg/m}^2 \cdot \text{d}$	0,6
Carga hidráulica	C_H	$\text{m}^3/\text{m}^2 \text{H}$	0,55
Área de sedimentación	A_s	m^2	18,5
Carga de rebose	C_r	m/d	0,7
Tiempo de permanencia	t_p	h	24
Diámetro sedimentador	D	m	4,9
Volumen sedimentador	V	m^3	79,2
Altura sedimentador	H	m	4,2
Ángulo externo	α	grados	45
Diámetro inferior	D_i	m	0,6
Altura tolva	H_t	m	1,8
Volumen tolva	V_t	m^3	16
Volumen total	V_T	m^3	95,6



Altura total	H_T	m	6
Diámetro de campana	C_a	m	1,5
Altura de campana	H_a	m	2,4
Caudal de salida por vertedero	Q_V	m^3/s	0,001
Cantidad de vertederos	n_V	unidad	4
Altura del vertedero	$h_{V \text{ real}}$	m	0,07
Ancho del vertedero	W_V	m	0,23
Longitud de vertederos	L_V	m	0,9
Perímetro del sedimentador	P	m	15,2
Espacio entre vertederos	E_V	m	3,6
Velocidad canal	V_C	m/s	0,1
Área canal	A_C	m^2	0,0004
Ancho canal	W_C	m	0,3
Altura pared interna	h_i	m	0,001
Altura pared externa	h_e	m	0,3
Pendiente	S	m	0,15

MODELO	Nº de placas	Nº de cámaras	Longitud	Anchura	Altura	Peso en vacío	Peso en carga	Superficie filtrante total	Volumen torta total FP	Tamaño placas y telas	
	ud.	ud.	mm (A)	mm (B)	mm (C)	(Kg)	(Kg)	(m^2)	(l)	mm	
FPA 47/	5	4	1.455	1.167	1.376	640	688	1,5	21	470	
	10	9	2.330	1.167	1.376	800	860	3,3	47	470	
	15	14	3.170	1.167	1.376	940	1.035	5,2	73	470	
	20	19	4.030	1.167	1.376	1.100	1.230	7,0	98	470	
	25	24	4.910	1.167	1.376	1.260	1.420	8,9	124	470	
	30	29	5.775	1.167	1.376	1.410	1.605	10,7	150	470	
Caudal bomba (l/m): 6,8 Volumen depósito (l): 30 Potencia: 3 Kw Calculado para un espesor de torta de: 32 mm											
FPA 63/	10	9	2.415	1.350	1.500	1.300	1.490	5,9	85	630	
	15	14	3.270	1.350	1.500	1.500	1.670	9,1	132	630	
	20	19	4.145	1.350	1.500	1.620	1.850	12,4	179	630	
	25	24	5.030	1.350	1.500	1.780	2.080	15,4	224	630	
	30	29	6.200	1.350	1.500	1.900	2.250	18,9	273	630	
	Caudal bomba (l/m): 12-4 Volumen depósito (l): 55 Potencia: 2,2 Kw Calculado para un espesor de torta de: 32 mm										
FPA 80/	15	14	3.565	1.585	1.700	2.500	2.790	15,3	224	800	
	20	19	4.475	1.585	1.700	2.720	3.125	20,7	305	800	
	25	24	5.525	1.585	1.700	2.970	3.470	26,2	385	800	
	30	29	6.295	1.585	1.700	3.100	3.705	31,4	465	800	
	Caudal bomba (l/m): 28-4,5 Volumen depósito (l): 75 Potencia: 4 Kw Calculado para un espesor de torta de: 32 mm										
	FPA 100/	20	19	5.165	1.780	1.950	6.000	6.630	33	485	1.000
25		24	5.485	1.780	1.950	6.400	7.195	42	612	1.000	
30		29	5.805	1.780	1.950	6.800	7.762	50,8	740	1.000	
Caudal bomba (l/m): 33-5 Volumen depósito (l): 100 Potencia: 4 Kw Calculado para un espesor de torta de: 32 mm											
FPA 120/	20	19	5.380	2.010	2.125	6.550	7.375	48	635	1.200	
	25	24	5.725	2.010	2.125	7.200	8.240	61	802	1.200	
	30	29	6.070	2.010	2.125	7.850	9.110	73	969	1.200	
	35	34	6.415	2.010	2.125	8.500	9.977	86	1.136	1.200	
Caudal bomba (l/m): 33-5 Volumen depósito (l): 100 Potencia: 4 Kw Calculado para un espesor de torta de: 32 mm											
FPA 150/	20	19	5.155	2.300	1.800	7.150	8.505	73,9	1.042	1.500	
	25	24	6.141	2.300	1.800	7.800	9.512	93,4	1.317	1.500	
	30	29	7.126	2.300	1.800	8.450	10.519	112,8	1.591	1.500	
36	36	8.111	2.300	1.800	9.100	11.526	132,2	1.866	1.500		

FILTRO PRESA DE AUTOMÁTICO



NOTA:

- (1) El FPA se suministra con:
- Protecciones laterales en PREY.
 - Canal de recogida de agua filtrada y manetas.
 - Conexión de aire a presión.
 - Equipado con circuito de soplado de tortas.
 - Parada de emergencia por cable.
 - Aceite hidráulico incluido.

(2) Compresor no incluido.

(3) Las dimensiones y especificaciones técnicas pueden variar ligeramente debido al normal desarrollo de los productos por parte del equipo técnico o de Toro Equipment S.L. Al realizar su pedido solicite plano de especificaciones en www.toroequipment.com

Anexo 3 - Figura 16. Ficha técnica Filtro Prensa. Fuente: Toro.



Anexo 3 - Tabla 34. Tramos que componen el sistema de conducción.

Tramo	Inicio	Fin	Etapas de Tratamiento
1PPG	Planta productiva	Rejas finas	Pretratamiento del efluente industrial
2PPG	Rejas finas	Canasto + Ecuador 1°	
3PPG	Sistema cloacal	Rejas finas	Pretratamiento del efluente cloacal
4PPB	Rejas finas	Canasto + Ecuador 2°	
5PB	Canasto + Ecuador 1°	Coagulación - floculación	Tratamiento primario
6PG	Coagulación - floculación	Sedimentador 1°	
7SG	Sedimentador 1°	Ecuador 2°	Tratamiento secundario
8SB	Canasto + Ecuador 2°	Reactor MBR	
9TB	Reactor MBR	Sistema de UF	Tratamiento terciario
10LB	Sedimentador 1°	Espesador por gravedad	Tratamiento de lodos
11LB	Reactor MBR		
12LB	Espesador por gravedad	Estabilización	
13LG	Estabilización	Filtro prensa	
14LG	Filtro prensa	Almacenamiento	
15TG	Sistemas de UF	CTMyMC	
16TG	CTMyMC	Cámara principal del predio	Recuperación de agua y Vuelco



$\frac{y}{\phi}$	$\frac{A}{\phi^2}$	$\frac{P}{\phi}$	$\frac{R}{\phi}$	$\frac{y}{\phi}$	$\frac{A}{\phi^2}$	$\frac{P}{\phi}$	$\frac{R}{\phi}$
0.01	0.0013	0.2003	0.0066	0.51	0.4027	1.5908	0.2531
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.52	0.4127	1.6108	0.2562
0.03	0.0069	0.3482	0.0197	0.53	0.4227	1.6308	0.2592
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.54	0.4327	1.6509	0.2621
0.05	0.0147	0.4510	0.0326	0.55	0.4426	1.6710	0.2649
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.56	0.4526	1.6911	0.2676
0.07	0.0242	0.5355	0.0451	0.57	0.4625	1.7113	0.2703
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.58	0.4724	1.7315	0.2728
0.09	0.0350	0.6094	0.0575	0.59	0.4822	1.7518	0.2753
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.60	0.4920	1.7722	0.2776
0.11	0.0470	0.6761	0.0695	0.61	0.5018	1.7926	0.2799
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.62	0.5115	1.8132	0.2821
0.13	0.0600	0.7377	0.0813	0.63	0.5212	1.8338	0.2842
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.64	0.5308	1.8546	0.2862
0.15	0.0739	0.7954	0.0929	0.65	0.5404	1.8755	0.2881
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.66	0.5499	1.8965	0.2900
0.17	0.0885	0.8500	0.1042	0.67	0.5594	1.9177	0.2917
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.68	0.5687	1.9391	0.2933
0.19	0.1039	0.9021	0.1152	0.69	0.5780	1.9606	0.2948
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.70	0.5872	1.9823	0.2962
0.21	0.1199	0.9521	0.1259	0.71	0.5964	2.0042	0.2975
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.72	0.6054	2.0264	0.2987
0.23	0.1365	1.0004	0.1364	0.73	0.6143	2.0488	0.2998
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.74	0.6231	2.0715	0.3008
0.25	0.1535	1.0472	0.1466	0.75	0.6319	2.0944	0.3017
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.76	0.6405	2.1176	0.3024
0.27	0.1711	1.0928	0.1566	0.77	0.6489	2.1412	0.3031
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.78	0.6573	2.1652	0.3036
0.29	0.1890	1.1374	0.1662	0.79	0.6655	2.1895	0.3039
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.80	0.6736	2.2143	0.3042
0.31	0.2074	1.1810	0.1756	0.81	0.6815	2.2395	0.3043
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.82	0.6893	2.2653	0.3043
0.33	0.2260	1.2239	0.1847	0.83	0.6969	2.2916	0.3041
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.84	0.7043	2.3186	0.3038
0.35	0.2450	1.2661	0.1935	0.85	0.7115	2.3462	0.3033
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.86	0.7186	2.3746	0.3026
0.37	0.2642	1.3078	0.2020	0.87	0.7254	2.4039	0.3018
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.88	0.7320	2.4341	0.3007
0.39	0.2836	1.3490	0.2102	0.89	0.7384	2.4655	0.2995
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.90	0.7445	2.4981	0.2980
0.41	0.3032	1.3898	0.2182	0.91	0.7504	2.5322	0.2963
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.92	0.7560	2.5681	0.2944
0.43	0.3229	1.4303	0.2258	0.93	0.7612	2.6061	0.2921
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.94	0.7662	2.6467	0.2895
0.45	0.3428	1.4706	0.2331	0.95	0.7707	2.6906	0.2865

Anexo 3 - Figura 17. Relaciones geométricas para conducciones parcialmente llenas.

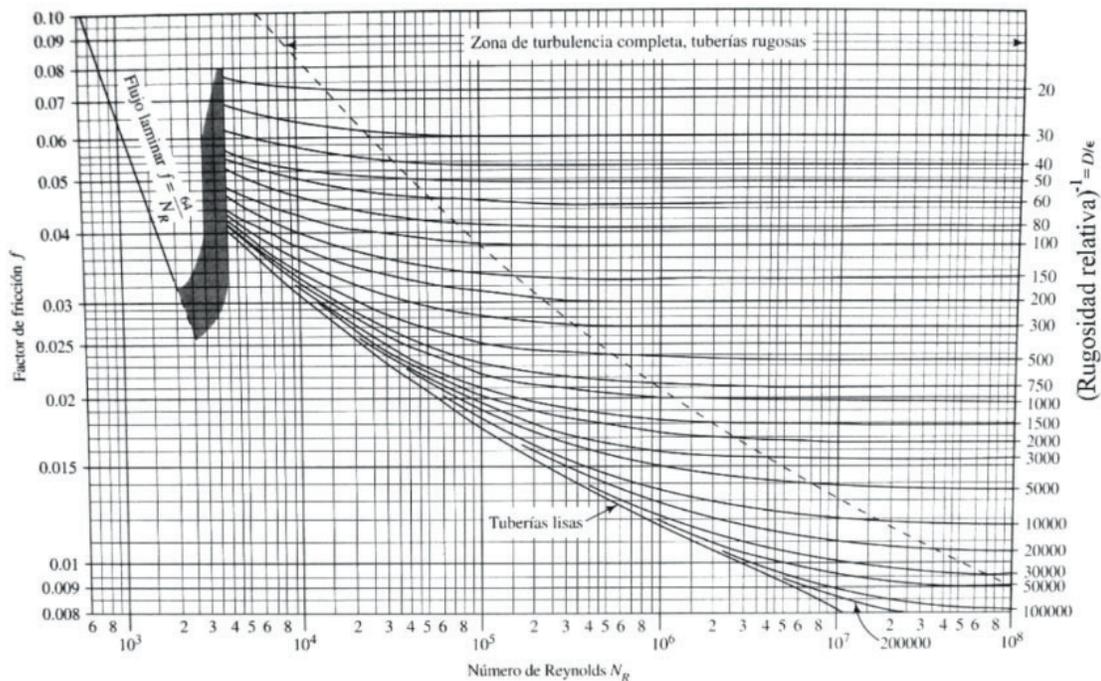
Fuente: Cátedra Operaciones Unitarias.

Anexo 3 - Tabla 35. Parámetros y dimensiones de conducciones a gravedad y presión.

Tramo	Caudal (m³/s)	Área mojada (m²)	Diámetro interno (m)	Velocidad de escurrimiento (m/s)	Radio hidráulico (m)
1PPG	0,0014	0,003	0,06	0,3	0,02
2PPG	0,0014	0,003	0,06	0,3	0,02
3PPG	0,0003	0,003	0,06	0,15	0,02
4PPB	0,0003	0,003	0,06	1,2	0,02



5PB	0,0011	0,008	0,11	1,2	0,03
6PG	0,0011	0,003	0,06	0,3	0,02
7SG	0,0011	0,003	0,06	0,3	0,02
8SB	0,0014	0,008	0,11	1,2	0,03
9TB	0,0014	0,008	0,11	1,2	0,03
10LB	0,00001	0,008	0,11	1,2	0,03
11LB	0,00002	0,008	0,11	1,2	0,03
12LB	0,0003	0,008	0,11	1,2	0,03
13LG	0,0003	0,003	0,06	0,15	0,02
14LG	0,0003	0,003	0,06	0,15	0,02
15TG	0,0014	0,003	0,06	0,3	0,02
16TG	0,0014	0,003	0,06	0,3	0,02



Anexo 3 - Figura 18. Gráfico de Moody. Fuente: Cátedra Operaciones Unitarias.

Anexo 3 - Tabla 36. Parámetros y valores para la pérdida de carga en cada tramo.

Tramo	Nro. Reynolds	Largo (m)	Rugosidad Relativa	Factor de Fricción de	Pérdida de carga en	Pérdida de carga en
-------	---------------	-----------	--------------------	-----------------------	---------------------	---------------------



			(k/D)	Darcy (f)	tubería (m)	accesorios (m)
1PPG	1,88E+7	10	2,40E-5	2,02E-3	1,47E-3	2,85E-2
2PPG	1,88E+7	5	2,40E-5	2,02E-3	7,36E-4	1,22E-2
3PPG	9,41E+6	10	2,38E-5	2,02E-3	3,68E-4	6,10E-3
4PPB	7,52E+7	10	2,40E-5	2,02E-3	2,36E-2	3,38E-1
5PB	1,31E+8	10	1,40E-5	1,77E-3	1,18E-2	2,13E-1
6PG	1,88E+7	6	2,40E-5	2,02E-3	8,83E-4	8,30E-3
7SG	1,88E+7	5	2,40E-5	2,02E-3	7,36E-4	2,50E-2
8SB	1,31E+8	6	1,40E-5	1,77E-3	7,08E-3	2,79E-1
9TB	1,31E+8	6	1,40E-5	1,77E-3	7,08E-3	1,32E-1
10LB	1,31E+8	24	1,40E-5	1,77E-3	2,83E-2	1,58E-1
11LB	1,31E+8	30	1,40E-5	1,77E-3	3,54E-2	2,09E-1
12LB	1,31E+8	12	1,40E-5	1,77E-3	1,42E-2	4,22E-1
13LG	9,41E+6	6	2,40E-5	2,02E-3	2,21E-4	4,40E-3
14LG	9,41E+6	3	2,40E-5	2,02E-3	1,10E-4	1,03E-3
15TG	1,88E+7	10	2,40E-5	2,02E-3	1,47E-3	1,61E-2
16TG	1,88E+7	15	2,40E-5	2,02E-3	2,21E-3	9,20E-4

Anexo 3 - Tabla 37. Accesorios del sistema de conducción. Fuente: elaboración propia.

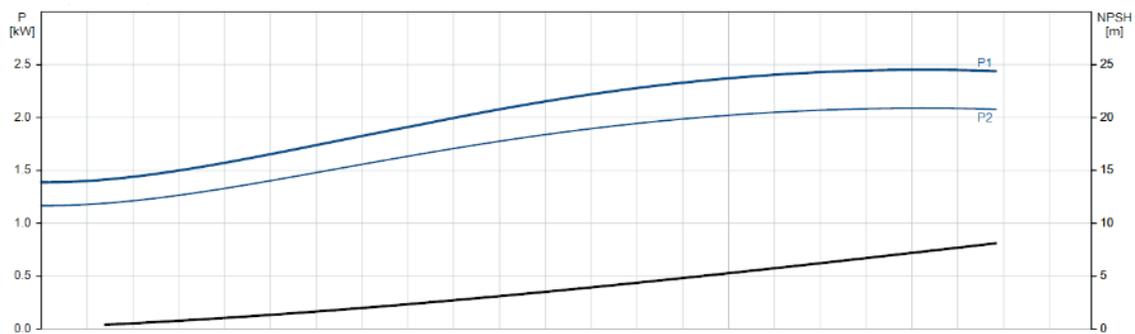
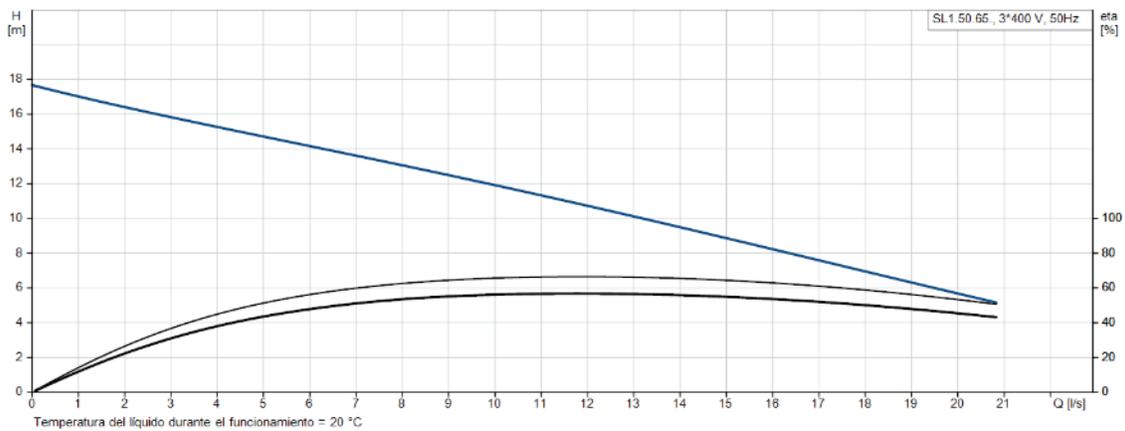
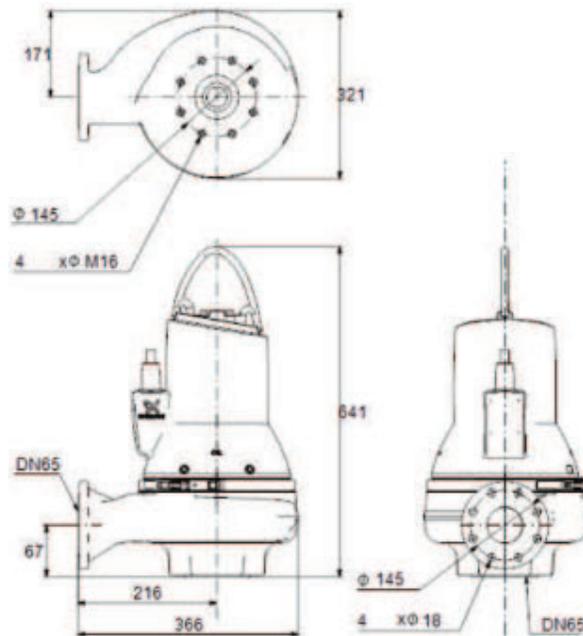
Tramo	Accesorio	Valor de cada constante por unidad
1PPG	Tubo Venturi	2,5
	2 Válvulas de compuerta	0,15
	2 Codos de 90° radio corto	0,9
	Válvula en T	1,6
2PPG	Válvula de compuerta	0,15
	1 Codo de 90° radio corto	0,9
	Válvula en T	1,6



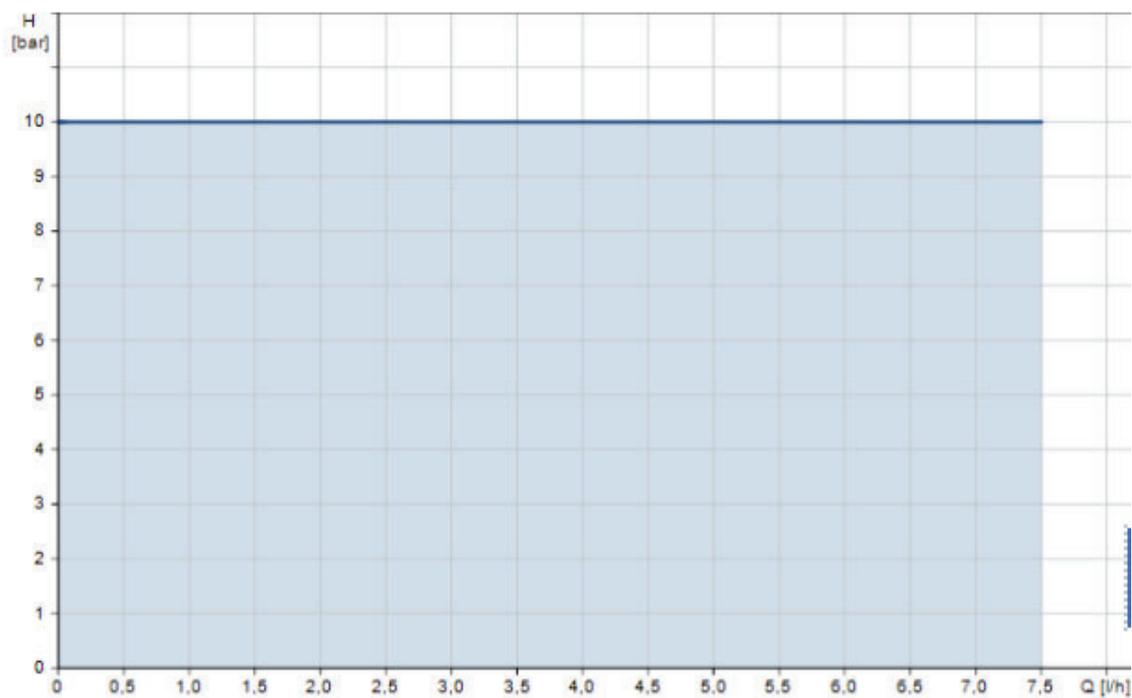
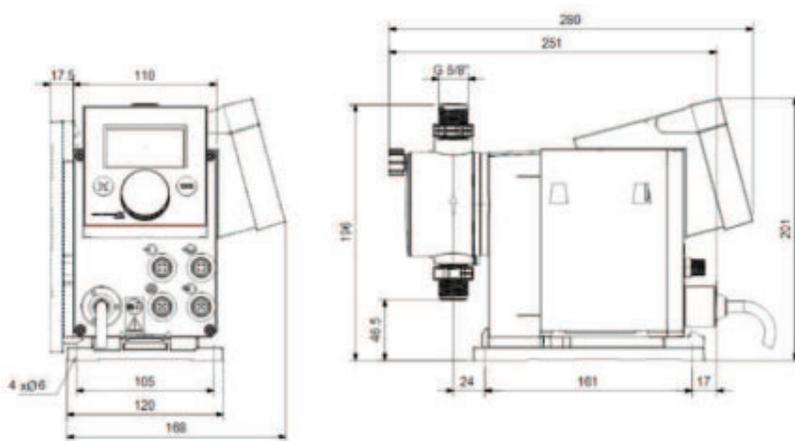
3PPG	Tubo Venturi	2,5
	Válvula de compuerta	0,15
	Válvula en T	1,6
	1 Codo de 90° radio corto	0,9
4PPB	2 Válvulas de compuerta	0,15
	3 Codo de 90° con radio corto	0,9
	Válvula en T	1,6
5PB	Válvula de antirretorno	2
	1 Codo de 90° con radio corto	0,9
6PG	2 Codos de 90° con radio corto	0,9
7SG	2 Codos de 45° con radio largo	0,2
	Válvula de compuerta	0,15
8SG	2 Codos de 90° con radio corto	0,9
	Válvula de antirretorno	2
9TB	2 Codo de 90° con radio corto	0,9
10LB	2 Codo de 90° con radio corto	0,9
	1 Codo de 45° con radio largo	0,2
	Válvula de compuerta	0,15
11LB	3 Codos de 90° con radio corto	0,9
	Válvula de compuerta	0,15
12LG	4 Codos de 90° con radio corto	0,9
	Válvula de compuerta	0,15
	Válvula de antirretorno	2
13LG	2 Codo de 90° con radio largo	0,9
	Válvula de antirretorno	2
14TG	1 Codo de 90° con radio largo	0,9
15TG	2 Codos de 90° con radio corto	0,9
	Válvula de esfera	0,1
	Válvula en T	1,6



16TG	1 Codo de 45° con radio corto	0,2
------	-------------------------------	-----



Anexo 3 - Figura 19. Ficha técnica de bomba sumergible seleccionada modelo SL1.50.65.30.A.2.50D.C. Fuente: Grundfos.



Anexo 3 - Figura 20. Ficha técnica de bomba dosificadora digital seleccionada modelo DDA 7.5-16. Fuente: Grundfos.

12.4. Anexo 4 - Capítulo 7

Anexo 4 - Tabla 38. Descripción de los costos que componen al CAPEX.

Descripción	Unidad	Costo	Cantidad	Subtotal	Costo total	% de
-------------	--------	-------	----------	----------	-------------	------



		unitario (US\$)		(US\$)		incidencia
Trabajos preliminares						
Estudio del suelo	unidad	585	1	585	US\$1.755	0,8
Estudio de agua subterránea	unidad	585	1	585		
Estudio de agua superficial	unidad	585	1	585		
Movimientos de suelo						
Limpieza y nivelación del terreno	unidad	110	1	110	US\$3.260	1,4
Excavación para sistema de conducción	m ³	30	15	450		
Excavación para unidades de tratamiento	m ³	30	90	2700		
Platea de fundación en hormigón armado						
Canal de rejillas finas línea industrial	m ³	320	1	320	US\$11.040	4,8
Canal de rejillas finas línea cloacal	m ³		1	320		
Ecualizador primario	m ³		12	3.840		
Floculación	m ³		1	320		
Sedimentador primario	m ³		1,5	480		
Ecualizador secundario	m ³		4	1.280		
Reactor MBR	m ³		2	640		
Sistema ultrafiltración	m ³		1	320		
CTMyMC	m ³		1	320		
Espesador por gravedad	m ³		6	1.920		
Acondicionamiento con cal	m ³		3	960		
Filtro prensa	m ³		1	320		
Accesos						
Camino peatonal y acceso seguro a unidades	m ²	90	300	27.000	US\$27.000	11,7
Infraestructura de PTEL						
Canal de hormigón armado para rejillas finas línea industrial	m ³	364	2	728	US\$69.804	30,2
Canal de hormigón armado para rejillas finas línea cloacal	m ³		2	728		
Sistema de rejillas automáticas fijas para	unidad	1.095	2	2.190		



Línea industrial proveedor BioTanks						
Sistema de rejas automáticas fijas para línea cloacal proveedor BioTanks	unidad	1.095	2	2.190		
Chapas proveedor Hierros Torrent para canasto línea industrial	m ²	12	5	60		
Hormigón armado para ecualizador primario	m ³	364	12	4.368		
Coagulador estático proveedor Grec	unidad	400	1	400		
Hormigón armado para cámara de floculación	m ³	364	3	1.092		
Acero inoxidable para deflectores de cámara de floculación	m ²	100	1	100		
Hormigón armado para sedimentador primario	m ³	364	10	3.640		
Acero inoxidable para zona de entrada y salida del sedimentador primario	m ²	100	20	2000		
Hormigón armado para ecualizador secundario	m ³	364	8	2.912		
Hormigón armado para reactor MBR	m ³	364	14	5.096		
Hormigón armado para CTMyMC	m ³	364	2	728		
Hormigón armado para espesador por gravedad	m ³	364	35	12.740		
Hormigón armado para tanque de acondicionamiento con cal	m ³	364	12	4.368		
Sistema MBR proveedor Aeration Argentina	unidad	5.500	1	5.500		
Sistema de ultrafiltración proveedor PureAqua	unidad	6.500	1	6.500		
Filtro prensa proveedor Toro	unidad	3.016	1	3.016		
Hormigón armado para sala de control	m ³	364	10	3.640		
Hormigón armado para laboratorio	m ³	364	20	7.280		
Puertas para sala de control y laboratorio	unidad	60	3	180		
Ventanas para sala de control y laboratorio	unidad	58	6	348		
Equipamiento						
Rastrillo de acero inoxidable para limpieza de canastos	unidad	20	2	40	US\$30.015	13,0



Difusores de burbuja gruesa para ecualizador primario proveedor Repicky	unidad	85	20	1.700		
Difusores de burbuja fina para ecualizador secundario y sistema MBR proveedor Repicky	unidad	95	24	2.280		
Soplador de aire proveedor Repicky	unidad	250	6	1.500		
Mezclador de turbina vertical	unidad	1.300	1	1.300		
Agitador de lodos vertical para tanque de acondicionamiento con cal	unidad	1.700	1	1.700		
Barredor de lodos para espesador por gravedad	unidad	2.500	1	2.500		
Bomba centrífuga sumergible proveedor Grundfos	unidad	590	8	4.720		
Bombas dosificadora digital proveedor Grundfos	unidad	110	3	330		
Termorreactor para DQO de laboratorio	unidad	1.770	1	1.770		
Fotómetro de laboratorio	unidad	3.075	1	3.075		
Medidor de pH de laboratorio	unidad	700	1	700		
Medidor de oxígeno disuelto portátil de laboratorio	unidad	1.700	1	1.700		
Incubadora de laboratorio	unidad	2.600	1	2.600		
Balanza de precisión de laboratorio	unidad	1.300	1	1.300		
Horno de secado de laboratorio	unidad	2.500	1	2.500		
Medidores varios de laboratorio	unidad	30	10	300		
Sistema de conducción						
Provisión e instalación de cañería PEAD DN 63 mm	m	15	90	1.350	US\$7.272	3,0
Provisión e instalación de cañería PEAD DN 110 mm	m	18	120	2.160		
Provisión e instalación de caudalímetro	unidad	650	2	1.300		
Medidor venturi	unidad	235	2	470		
Válvula antirretorno	unidad	15	4	60 –120		
Válvula de compuerta	unidad	28	9	252–196		
Codo 45° de radio largo	unidad	48	4	192–288		
Codo 90° de radio corto	unidad	48	31	1.488		



Instalación canilla con accesorios	unidad	15	1	15		
Terminaciones						
Pintura epoxi de 4 L	litros	72	40	2.880	US\$6.975	3,0
Sellador impermeabilizante de 4 L	litros	45	40	1.800		
Cartelería	unidad	15	20	300		
Escaleras, pasamanos y pasarelas	m	48	20	960		
Rejilla de drenaje	m	9	115	1.035		
Instalación eléctrica						
Provisión y montaje de tablero eléctrico	unidad	2.950	1	2.950	US\$5.405	2,3
Tendido eléctrico	m	3	200	600		
Instalación a toma de tierra	unidad	190	1	190		
Luminaria externa	unidad	105	15	1.575		
Fotocélula	unidad	6	15	90		
Honorarios						
Jefe de obra	mes	1.900	10	19.000	US\$43.720	18,9
Supervisión de obra	mes	1.100	10	11.000		
Croquis de anteproyecto	unidad	2.100	1	2.100		
Croquis de proyecto	unidad	2.100	1	2.100		
Documentación de proyecto y obra	unidad	420	1	420		
Licencias, permisos y seguros	unidad	500	1	500		
Herrero	mes	700	3	2.100		
Albañil	mes	650	10	6.500		
Puesta en marcha						
Puesta en marcha	unidad	24.900	1	24.900	US\$24.900	10,8
Costo Total						US\$231.140
Costo Total + AIU (25%)						US\$288.866

Anexo 4 - Tabla 39. Consumo energético de los equipos instalados.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Tiempo de uso por día	Consumo por día	Consumo total
--------	----------	---------------	-----------------------	-----------------	---------------



			(h)	(kWh)	(kWh/mes)
Sistema de rejas automáticas finas BioTanks	2	0,4	24	19	576
Soplador de aire R200 Repicky	2	4,3	24	206	6.192
Soplador de aire R100 Repicky	2	1,2	24	57	1.728
Soplador de aire R300 Repicky	2	3,5	24	168	5.040
Mezclador de turbina vertical floculador	1	0,5	24	12	360
Bomba centrífuga sumergible	8	0,5	24	96	2880
Bomba dosificadora de reactivos	3	0,1	24	7	216
Agitador de lodos	1	0,5	24	12	360
Barredor de lodos	1	1	24	24	720
Filtro prensa Toro	1	1	12	12	360
Sistema de UF	1	1	24	24	720
Sistema de automatización	1	0,2	24	5	144
Luminaria	15	0,1	12	18	540

Anexo 4 - Tabla 40. Valores de operación, mantenimiento e imprevistos del proyecto.

Descripción	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Subtotal	Costo total	% de incidencia
Insumos químicos						
Sulfato de aluminio	kg/mes	US\$5	48	US\$240	US\$756,75	4,2
ARIFLOC C606		US\$10	12	US\$120		
Cal viva		US\$2	48	US\$96		
Insumos químicos para medición de parámetros en laboratorio		US\$300	-	US\$300		
Consumo eléctrico						
Sistema de rejas automáticas finas BioTanks	kWh*mes	\$85/kWh	576	\$48.960	US\$1.589	8,9
Soplador de aire R300 Repicky			6.192	\$526.320		



Soplador de aire R300 Repicky			1.728	\$146.880		
Soplador de aire R100 Repicky			5.040	\$428.400		
Mezclador de turbina vertical floculador			360	\$30.600		
Bomba centrífuga			2880	\$244.800		
Bomba dosificadora de reactivos			216	\$18.360		
Agitador de lodos			360	\$30.600		
Barredor de lodos			720	\$61.200		
Filtro prensa Toro			360	\$30.600		
Sistema de UF			720	\$61.200		
Sistema de automatización			144	\$12.240		
Luminaria			540	\$45.900		
Mano de obra						
Ingeniero ambiental	Empleado	US\$1.600	1	US\$1.600	US\$9.200	51,5
Licenciado en seguridad e higiene	Empleado	US\$1.300	1	US\$1.300		
Supervisor de planta	Empleado	US\$1.400	1	US\$1.400		
Técnico químico	Empleado	US\$1.100	1	US\$1.100		
Operario de planta	Empleado	US\$900	2	US\$1.800		
Administrativo	Empleado	US\$1.000	2	US\$2.000		
Tratamiento de lodos						
Transporte	US\$/viaje	US\$1.000	2	US\$2.000	US\$2.464	13,8
Tratamiento y disposición final	US\$/kg	US\$1,9	244	US\$464		
Mantenimiento						
Mantenimiento	-	US\$2.300	-	US\$2.300	US\$3.100	17,4
Imprevistos	-	US\$800	-	US\$800		
Costo Total						US\$17.110



12.5. Anexo 5 - Capítulo 8



**Laboratorio
de Análisis**

Dr. Miguel A. Ríos / MP 5074 CPQ

Empresa		CICACZ								
Fecha de emisión		16/10/2024								
ANÁLISIS DE AGUA										
Protocolo		2024-005267	2024-005268	2024-005269	2024-005270	2024-005271	2024-005272			
Fecha de muestreo		10/09/2024	10/09/2024	10/09/2024	10/09/2024	10/09/2024	10/09/2024			
Hora		09:30	09:55	10:10	10:25	10:40	11:00			
Muestras		1- Río KM 135	2- Río km 107	3- Río km 105	4- Río km 99	5- Río km 96	6- Río km 93			
Ubicación geográfica del punto de muestreo		Sur	33°57.708'	34°05.643'	34°06.481'	34°08.539'	34°09.168'	34°09.447'		
		Oeste	59°12.372'	59°00.757'	58°59.544'	58°58.498'	59°56.704'	58°55.129'		
DETERMINACIÓN								LÍMITE DEC 336/03 ADA	MÉTODO ANALÍTICO	LÍMITE DE DETECCIÓN
Temperatura	°C	18	18	18	18	18	18	4°C	S.M. 2550 B 22ed	1°C
pH	U _{pH}	7,43	7,44	7,28	7,40	7,42	7,24	6,5 a 10 U _{pH}	M. 4000 H-8 22ed	0,01 U _{pH}
Sólidos sed. en 10 min	ml/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1 ml/l	S.M. 2540-F 22ed	0,1 ml/l
Sólidos sed. en 2 hs	ml/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,0 ml/l	S.M. 2540-F 22ed	0,1 ml/l
Hidrocarburos totales	mg/l	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	10 mg/l	S.M. 8520-F 22ed	0,1 mg/l
Coliformes fecales (NMP)/100 ml		1500	240	1100	150	460	240	2.000/100 ml	S.M. 9221-C 17 ed	1.8100 ufc
DBO ₅	mg/l	<1	1	1	<1	<1	<1	50 mg/l	S.M. 5210-B 22ed	1 mg/l
DQO	mg/l	21	34	32	18	21	23	250 mg/l	S.M. 5200-D 22ed	10 mg/l
Detergentes (SAAM)	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,0 mg/l	S.M. 8540-D 22ed	0,1 mg/l
Hierro (soluble) (Fe)	mg/l	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,0 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,1 mg/l
Manganeso (soluble) (Mn)	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,5 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,05 mg/l
Cinc (Zn)	mg/l	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	2,0 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,01 mg/l
Níquel (Ni)	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,0 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,1 mg/l
Cromo total (Cr t)	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,0 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,1 mg/l
Cromo hexavalente (Cr 6)	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,2 mg/l	S.M. 3500 D-0 17ed	0,02 mg/l
Cadmio (Cd)	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,01 mg/l
Aluminio (Al)	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,0 mg/l	S.M. 3111 B 22 ed	0,5 mg/l
Nitrógeno total	mg/l	0,5	0,5	0,4	0,2	0,4	0,1	15 mg/l	M. 4500 N _{tot} 0 17	0,05 mg/l
Fósforo total	mg/l	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	1,0 mg/l	S.M. 4500 P-0 22ed	0,01 mg/l

S.M. : STANDARD METHODS

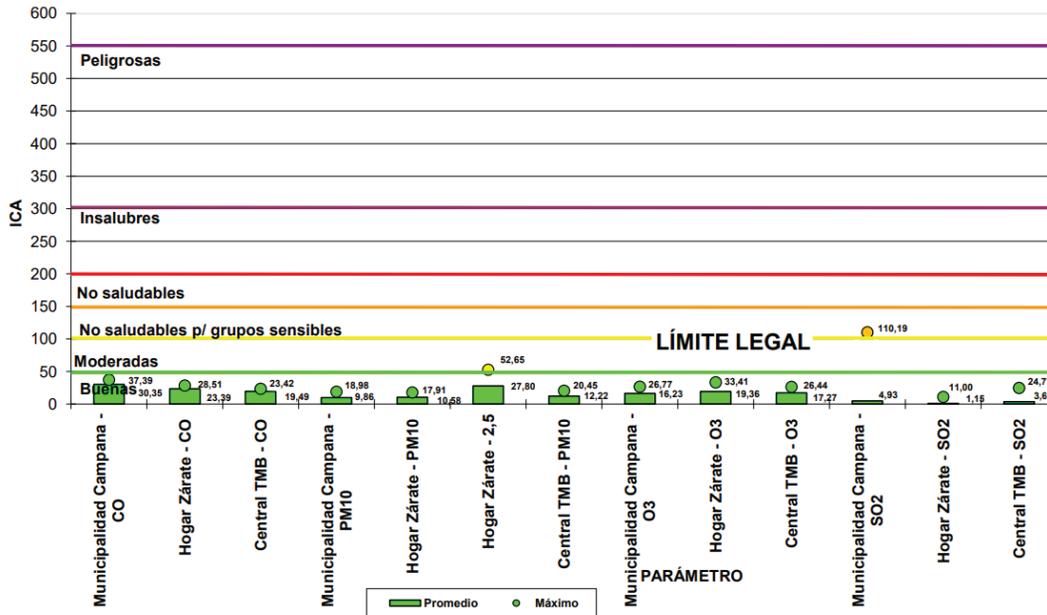
Dr. Miguel Antonio Ríos
LIC. EN QUÍMICA
M.P. 5074 - CPQ

25 de mayo 1031 - Campana - Tel: (03489) 40562 - direcciontecnica@labrios.com.ar

Anexo 5 - Figura 21. Resultados de los análisis de agua realizados sobre el Río Paraná de Las Palmas. Fuente: CICACZ.

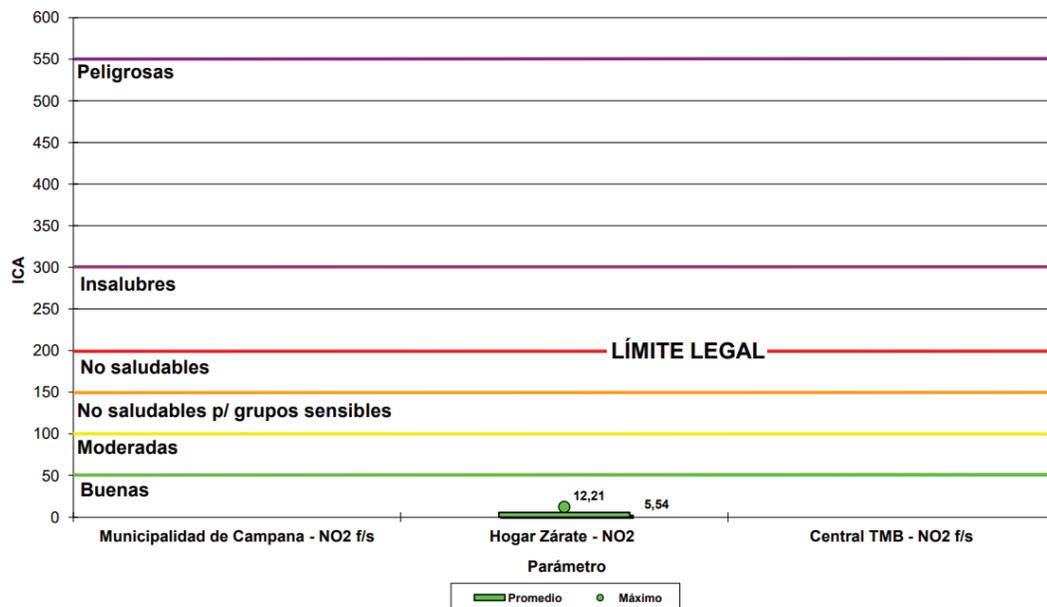


Índice de Calidad de Aire - Octubre 2024
Municipalidad de Campana - Hogar Sta. Teresita de Zárate - Central TMB

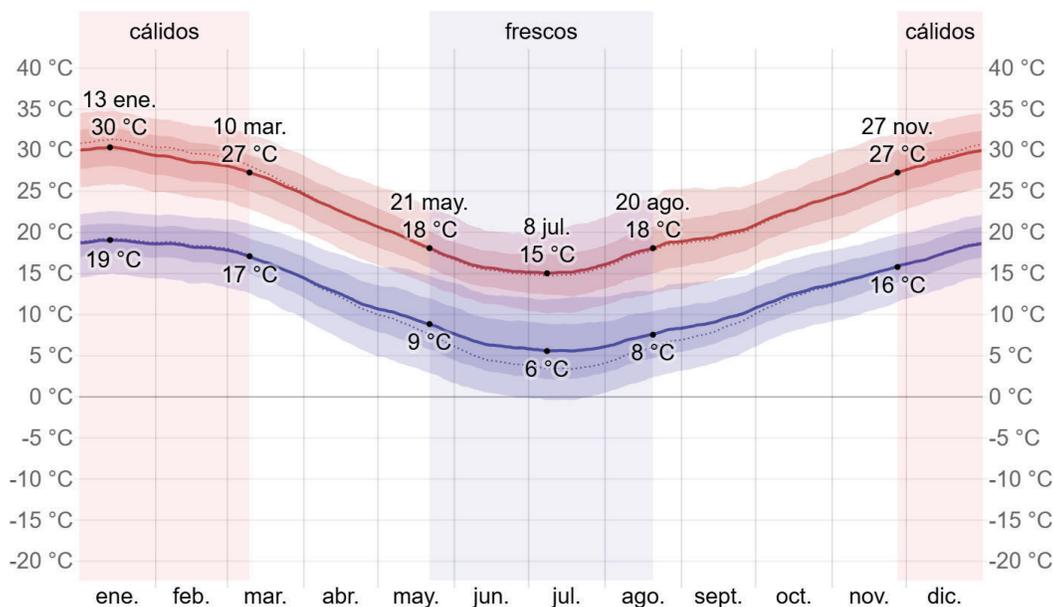


Anexo 5 - Figura 22. Índice de calidad del aire de octubre de 2024 (CO, PM10, PM2,5, O₃ y SO₂). Fuente: CICACZ.

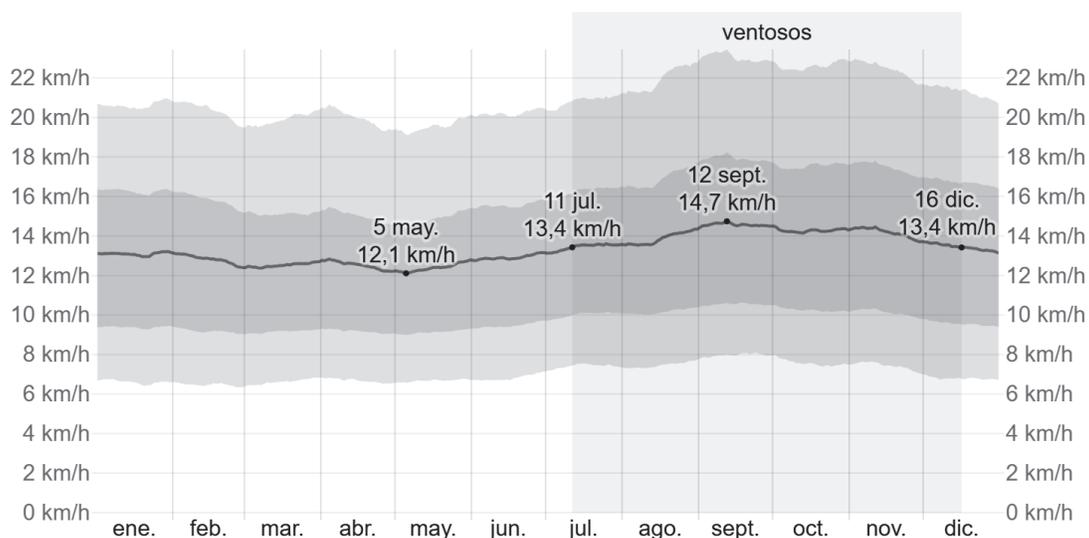
Índice de Calidad de Aire - Octubre 2024
Municipalidad de Campana - Hogar Sta. Teresita de Zárate - Central TMB



Anexo 5 - Figura 23. Índice de calidad del aire de octubre de 2024 (NO₂). Fuente: CICACZ.



Anexo 5 - Figura 24. Temperatura promedio máxima y mínima de Zárate (La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes). Fuente: Weatherspark.

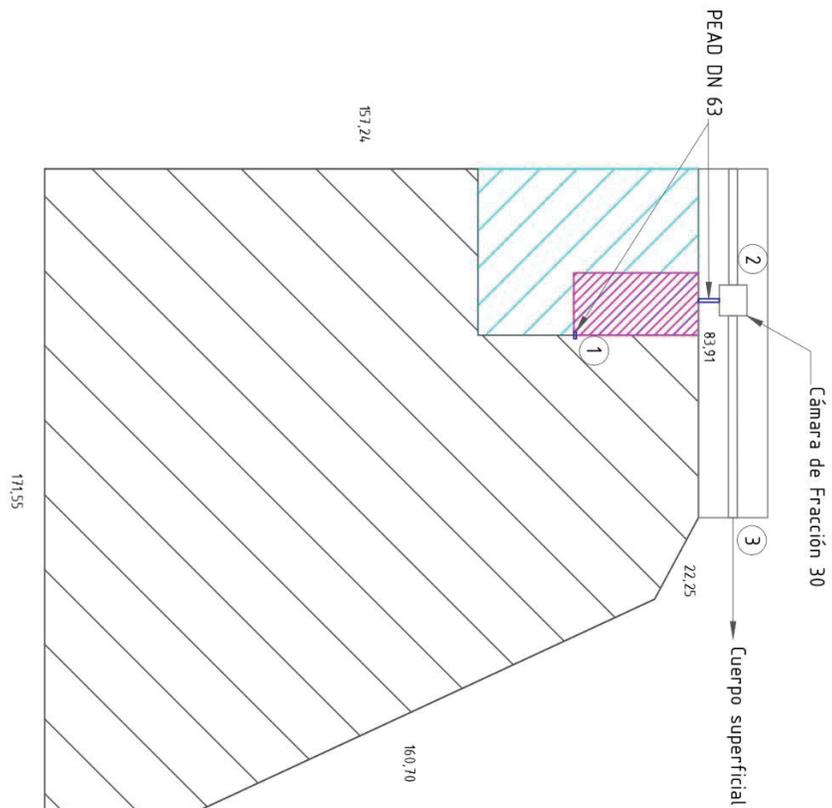


Anexo 5 - Figura 25. Velocidad promedio del viento en Zárate (El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90°). Fuente: Weatherspark.



Anexo 5 - Figura 26. Mapa de climas de la Provincia de Buenos Aires (Zárate se encuentra señalado con un cuadrado de contorno amarillo). Fuente: Mapoteca.

12.6. Anexo 6 - Capítulo 9



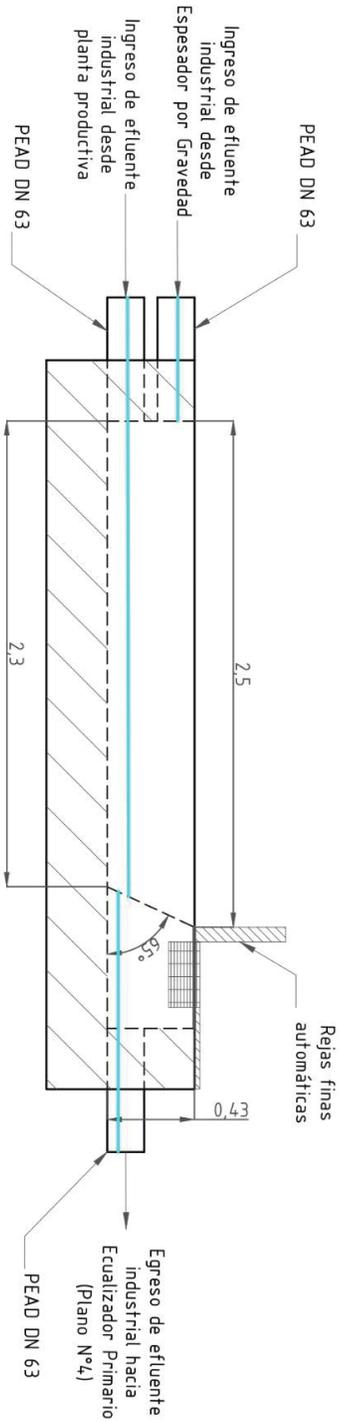
Referencias:

- 1 Ingreso efluente a PTEL.
- 2 Egreso efluente a cámara de Parque Industrial Zórate
- 3 Egreso efluente a cuerpo superficial
- Superficie no disponible
- Superficie PTEL
- Superficie disponible
- Cámara industrial

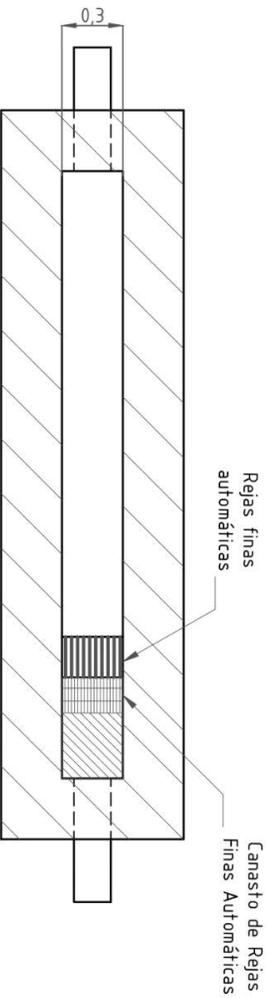
Fecha	Nombre	Descripción
		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para riego de zonas verdes y viviendas de seguridad autogestivas en Zárate, provincia de Buenos Aires.
Revisó		
Aprobó		
Escala		
1:50		
Plano N°	1	Ubicación de PTEL
		Alumno: Natalia María Burgos Carrera: Ingeniería Ambiental



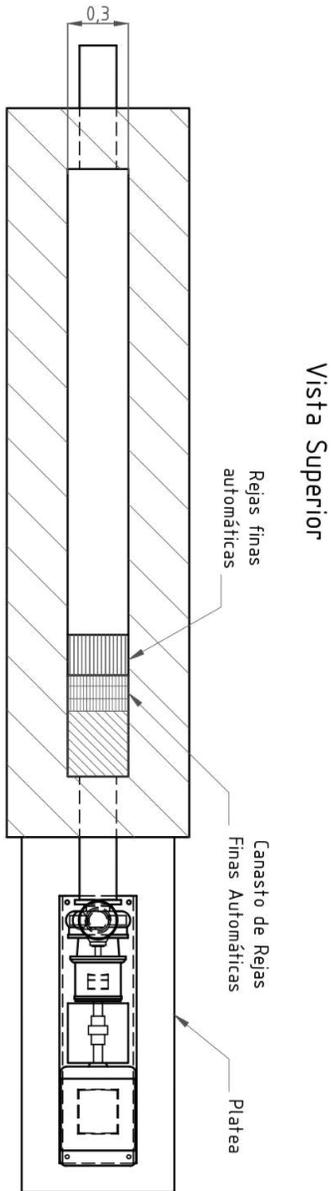
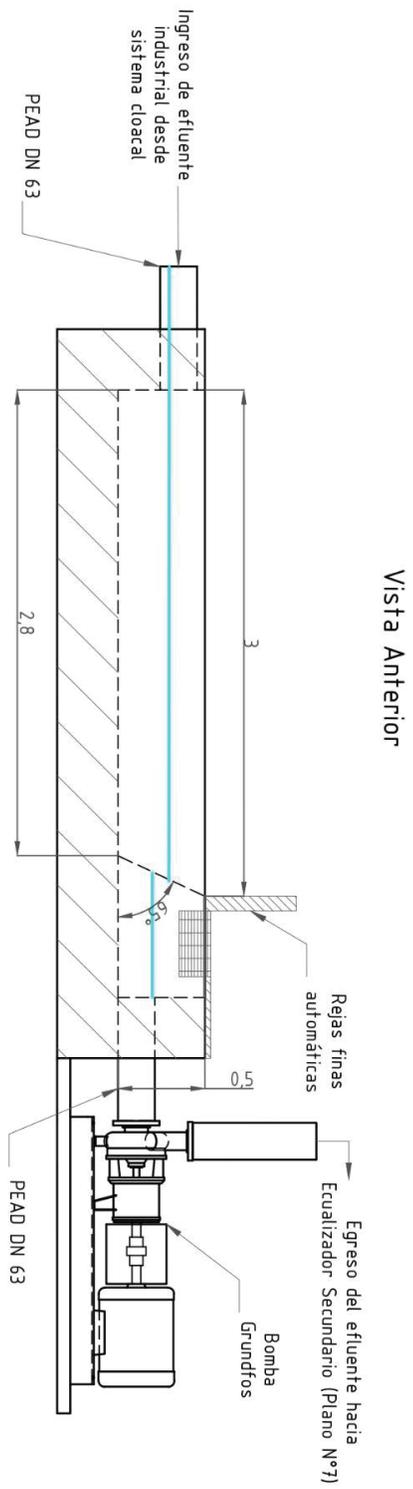
Vista Anterior



Vista Superior



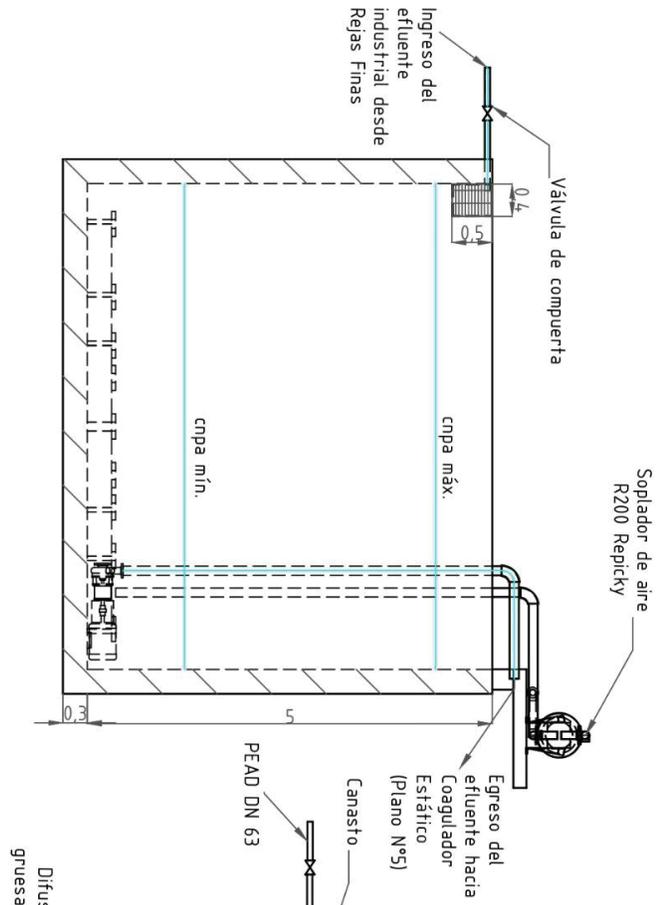
Fecha	Nombre	Descripción	
		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de autos de espaldas a provincia de Buenos Aires.	
Revisó			
Aprobó			
Escala	1:20		
Plano N°	2	Unidad Rejas Finas de Efluente Industrial	Alumno: Nicolás Muñoz Burgos Carrera: Ingeniería Ambiental



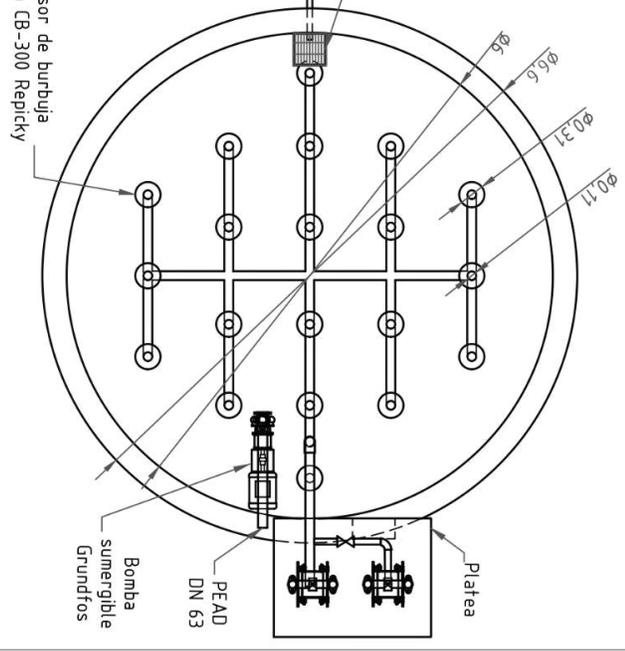
Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de autos de España, provincia de Buenos Aires.	<p>Escuela de Ingeniería ENUSUNSAM</p>
Revisó	Aprobó		
Escala	1:20	Unidad Rejas Finas de Efluente Cloacal	
Plano N°	3		Alumno: Nicolás Muñoz Burgos Carrera: Ingeniería Ambiental



Vista Anterior



Vista Superior

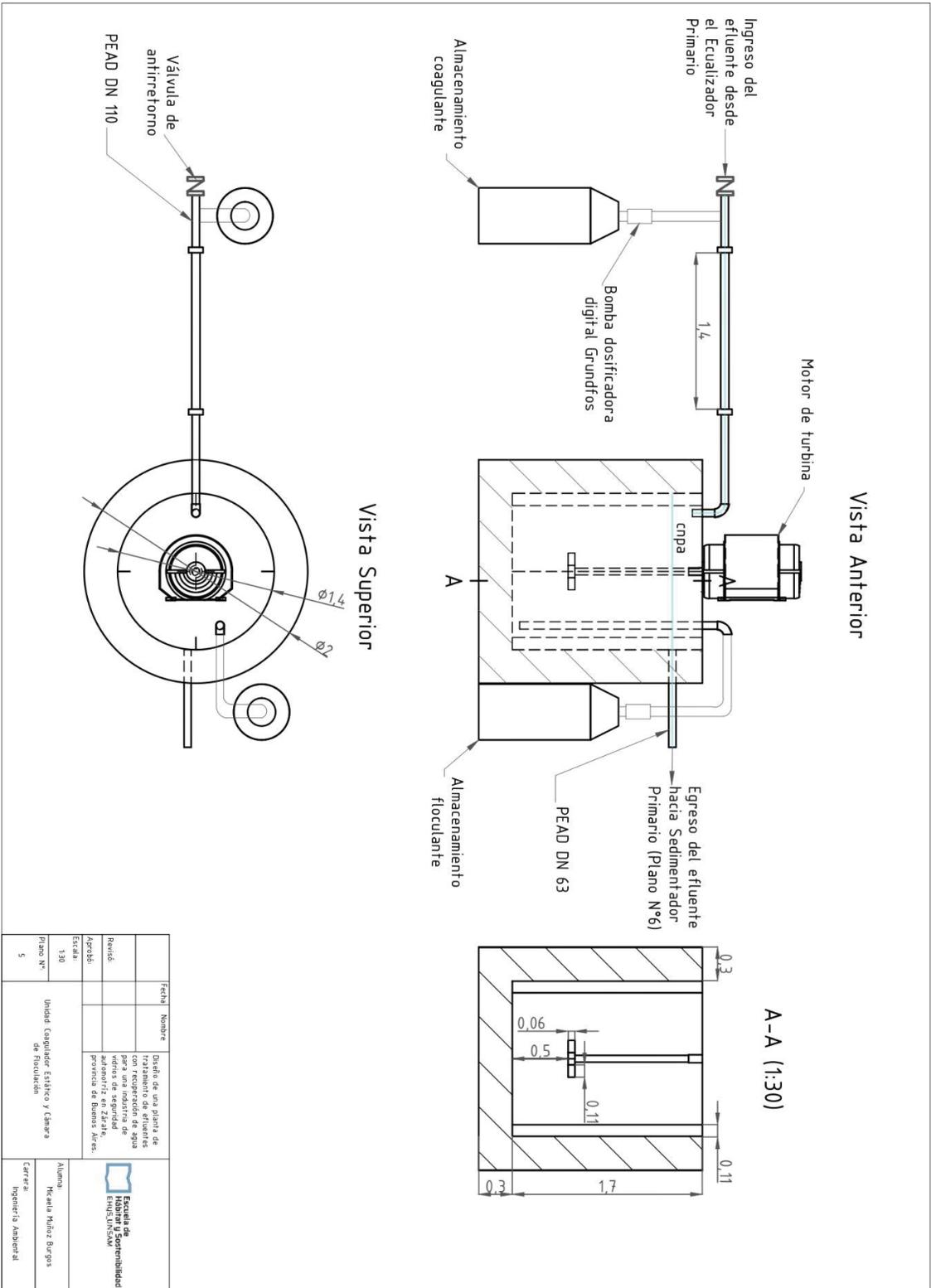


Fecha	Nombre	Detalle de una etapa de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una redorta de virus de seguridad provincia de Buenos Aires.
	Revisó	
	Aprobó	
Escala:	1:50	
Plano N°:	4	

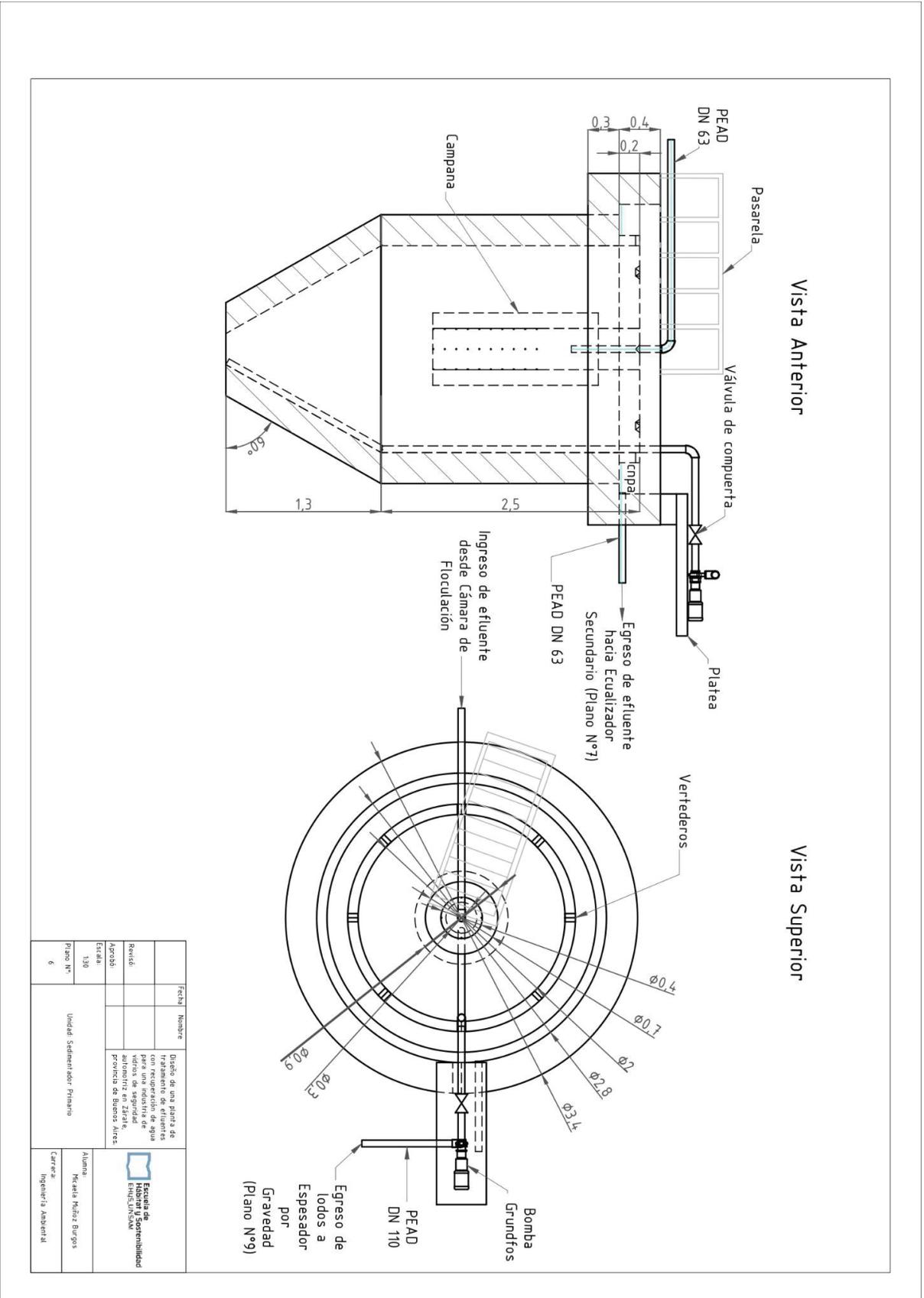
Unidad: Estabilizador Primario

Alumno: **Nicolas Muñoz Burgos**
Carrera: **Ingeniería Ambiental**

Escuela de Ingeniería Ambiental
ENUSUNSAM



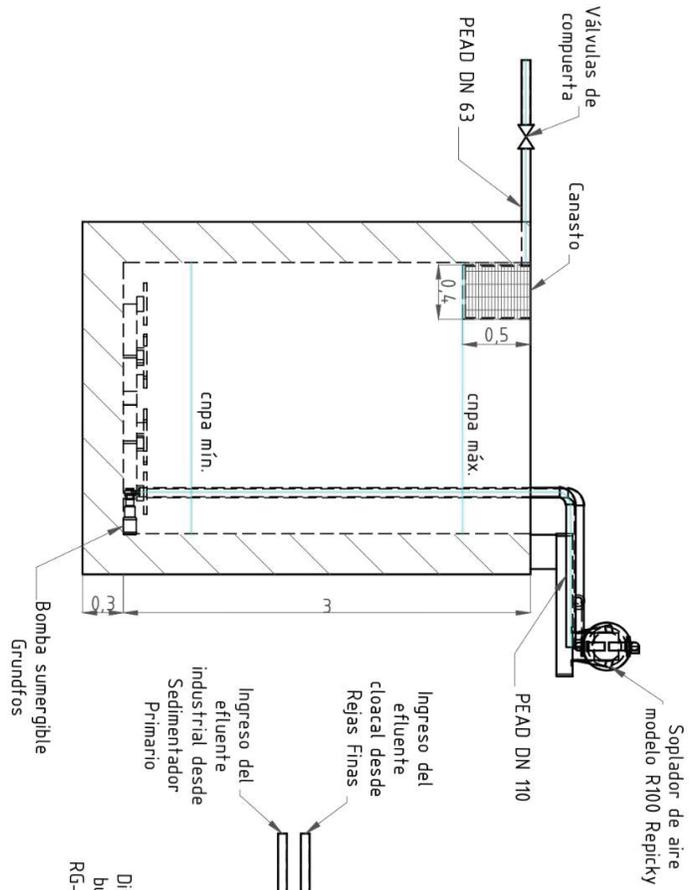
Fecha	Nombre	Detalle de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de vidrio de seguridad en provincia de Buenos Aires.	Escuela de Ingeniería Ambiental EINIA/UNSAM
	Revisó		
	Aprobó		
Escala	1:30		Aluma: Nicola Muñoz Burgos
Plano N°	5	Unidad Casquidero Estático y Cámara de Flotación	Carrera: Ingeniería Ambiental



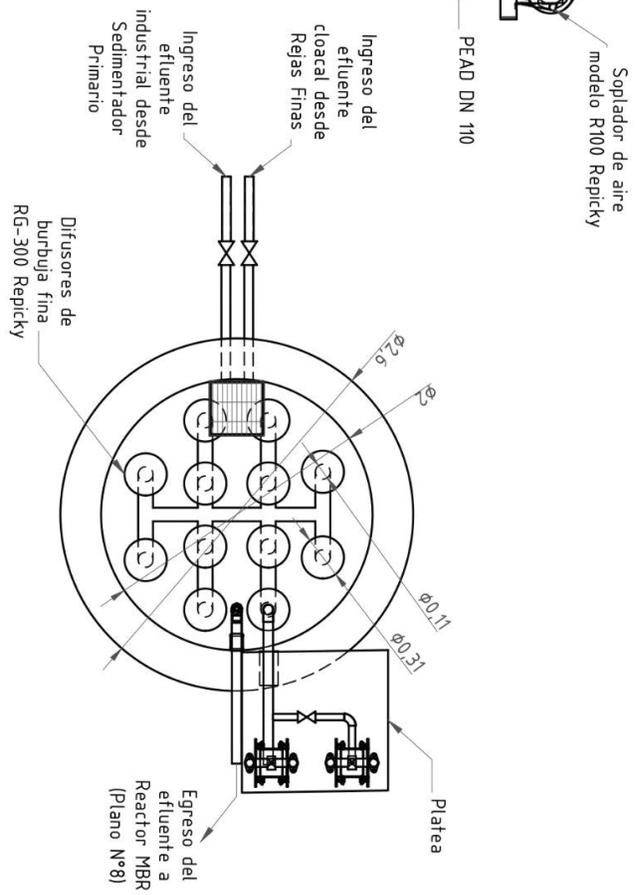
Fecha:	Nombre:	Diploma de una actividad de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de vidrio de seguridad provincia de Buenos Aires.	Escuela de Ingeniería Ambiental ENIGH-UNSAAM
Revisó:	Aprobó:		
Escalas:	1:30		
Plano N°:	6	Unidad: Sedimentador Primario	Alumna: Nekida Palizo Burgos Carrera: Ingeniería Ambiental



Vista Anterior

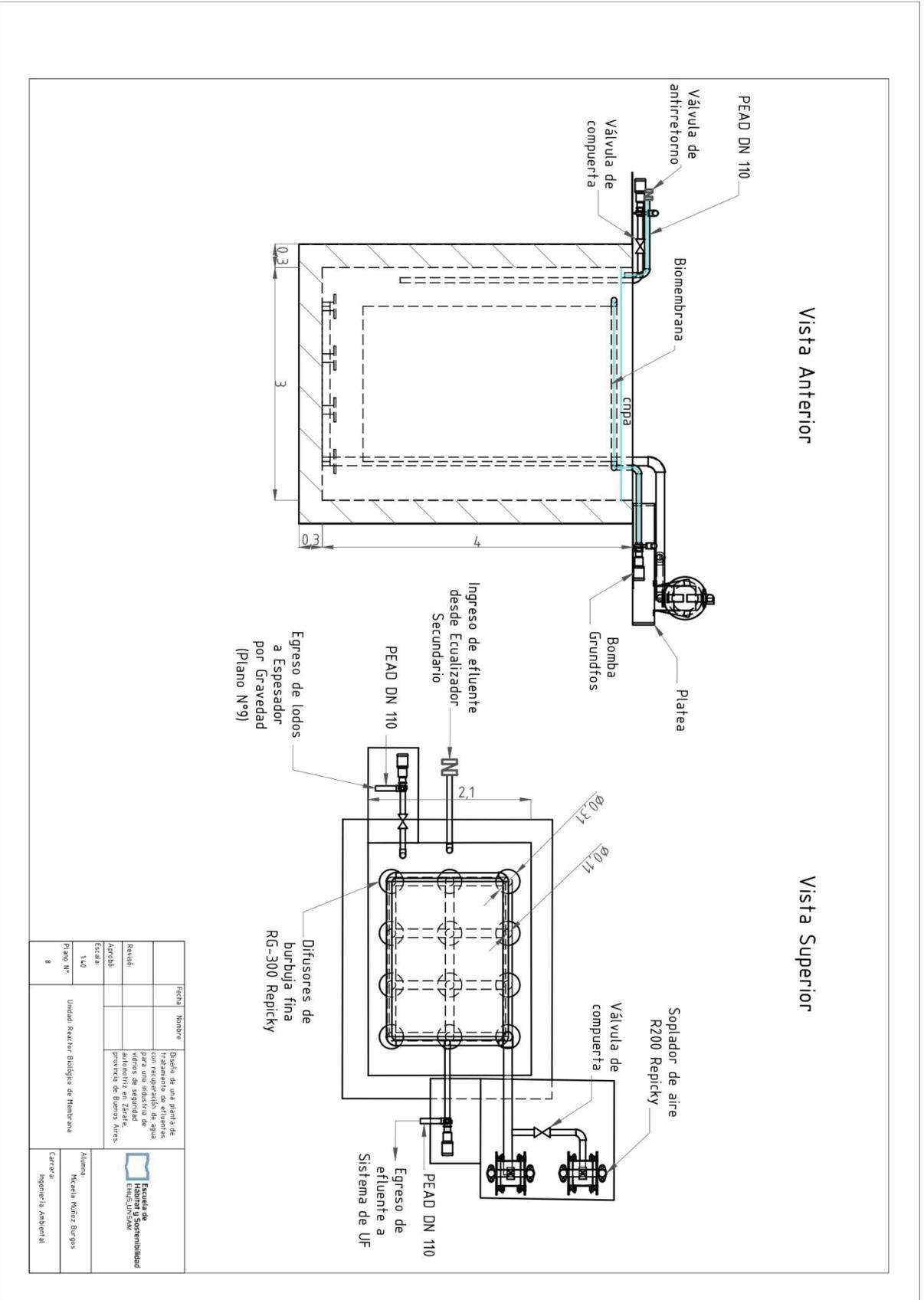


Vista Superior



Fecha	Nombre	Descripción
		Plano de una planta de Tratamiento de efluentes con recuperación de agua en una industria de aluminio en Zúrate, provincia de Buenos Aires.
Revisó:		
Aprobó:		
Escalera:	130	
Plano n°:	7	
Unidad Equalizador- Secundario		
Alumna:	Micaela Niza Burgos	
Carrera:	Ingeniería Ambiental	

Escuela de Ingeniería Ambiental
EIIHA-UNSAM



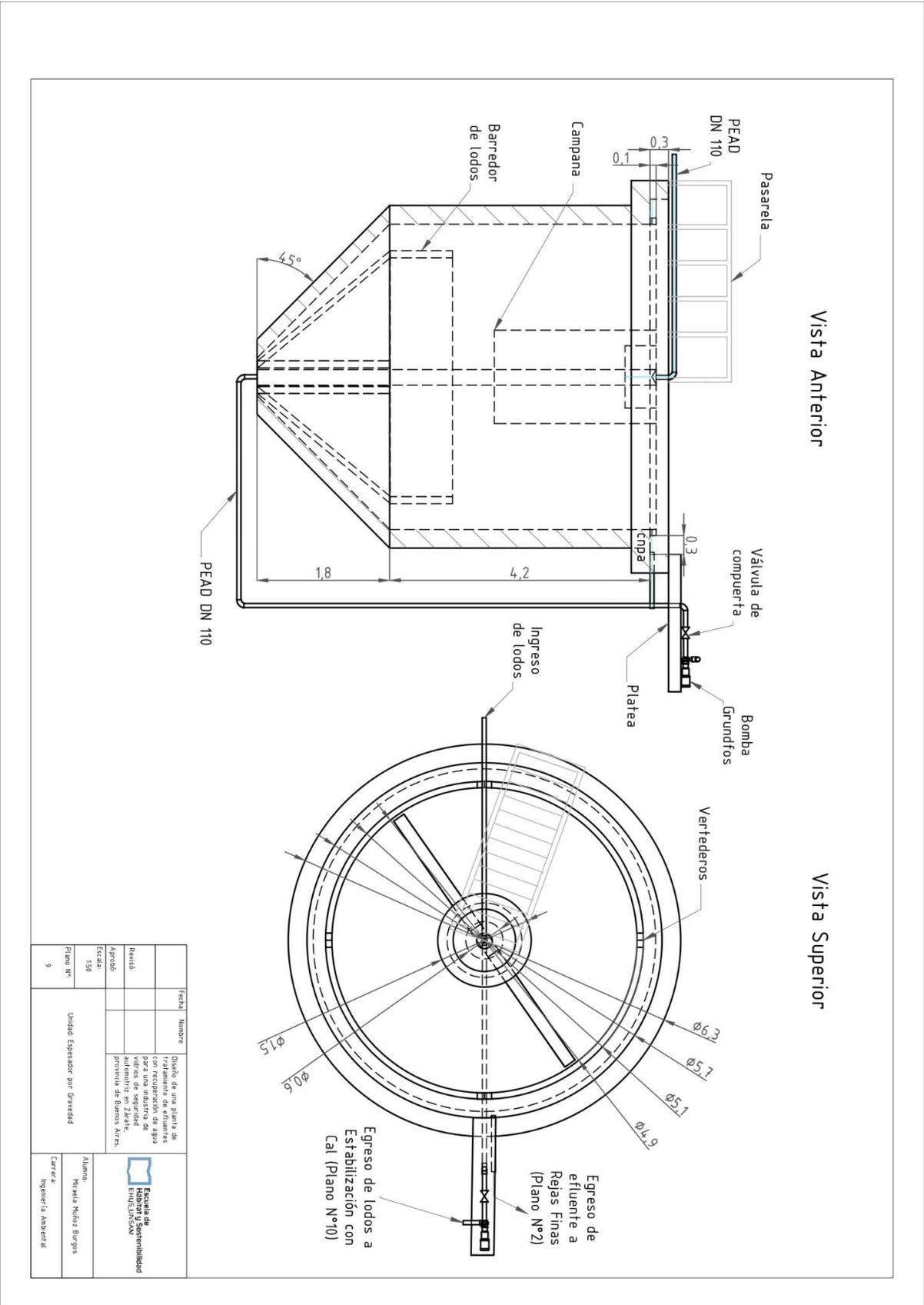
Fecha	Nombre	Descripción
		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de alimentos en la provincia de Buenos Aires.
Revisó		
Aprobó		
Escala	1:40	
Plano N°	8	

Unidad: Reactor Biológico de Membrana

Alumno: **Nicolas Muñoz Burgos**

Carrera: **Ingeniería Ambiental**

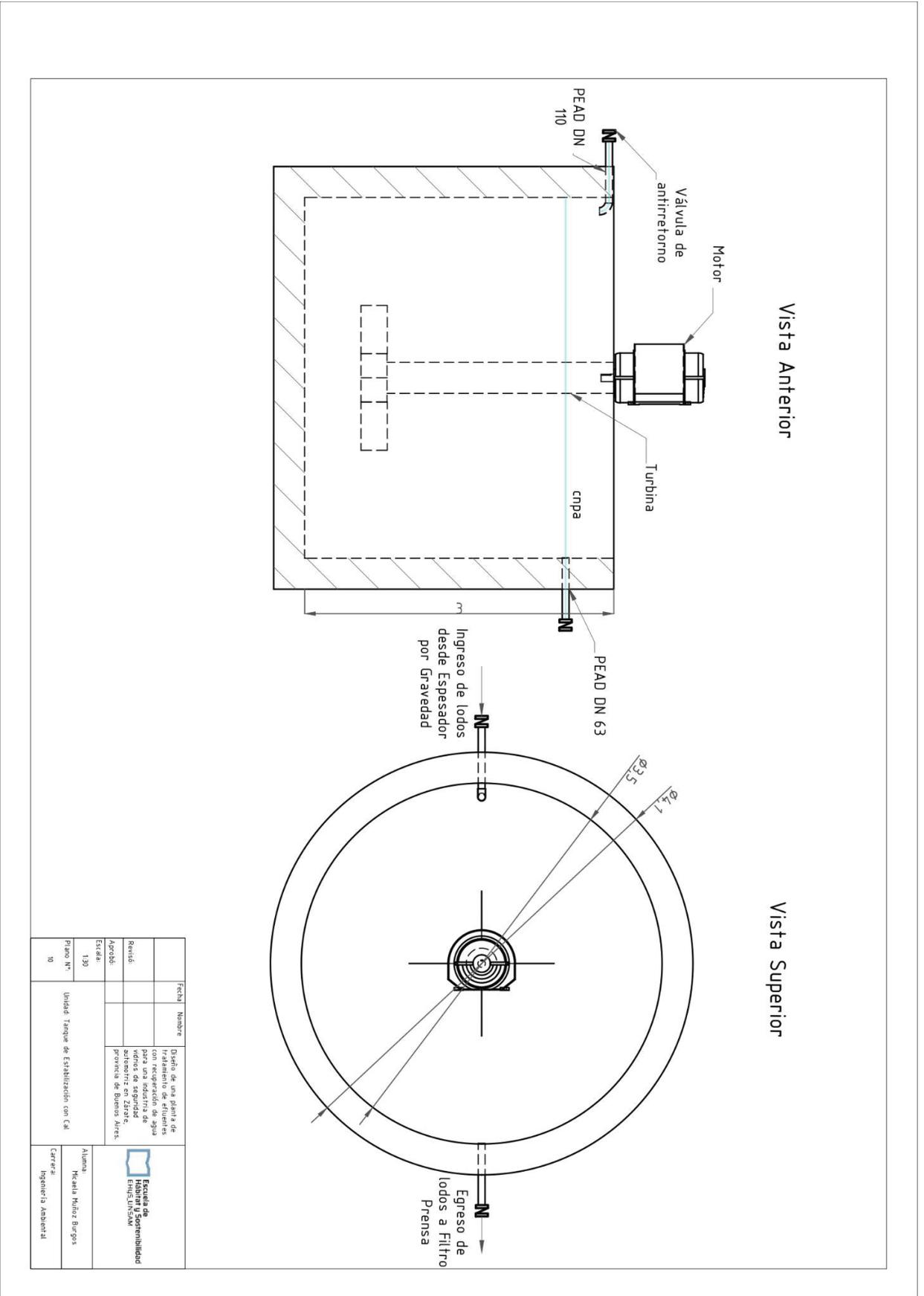
Escuela de Ingeniería Ambiental
ENUSUNSAM



Vista Anterior

Vista Superior

Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de fibras de algodón proveniente de Bimosa, Ares.	
Revisó			
Aprobó			
Escala	1:50		
Plano N°	9	Unidad Espesador por gravedad	Alumno: Nicolás Muñoz Burgos Carrera: Ingeniería Ambiental



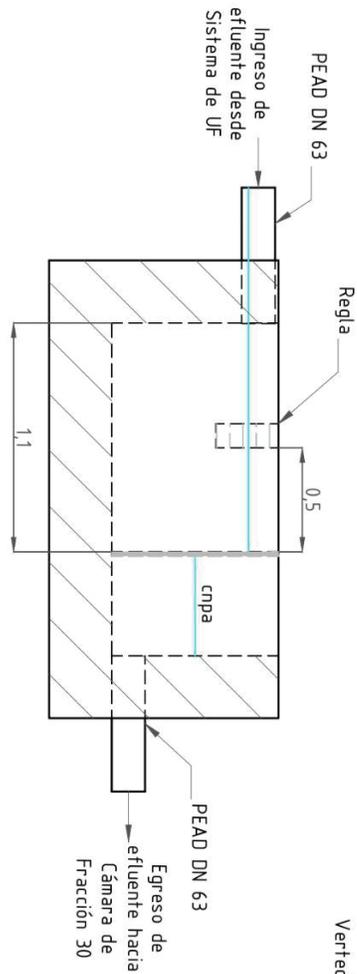
Fecha	Nombre	Descripción
		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua y generación de energía eléctrica a través de una turbina hidráulica en Zézele, provincia de Buenos Aires.
Revisó		
Aprobó		
Escuela		
130		
Práctico N°	Unidad Tanque de Estabilización con Cal	
80		

Alumno:
Natalia Mirza Burgos
Carrera:
Ingeniería Ambiental

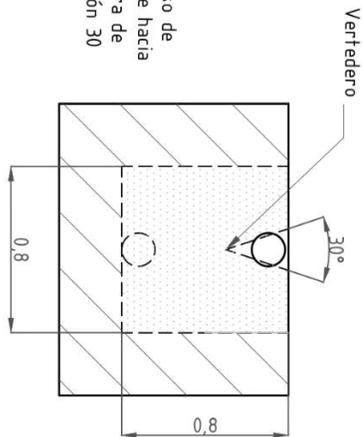
Escuela de Ingeniería y Sostenibilidad
ENHS-UNSAM



Vista Anterior

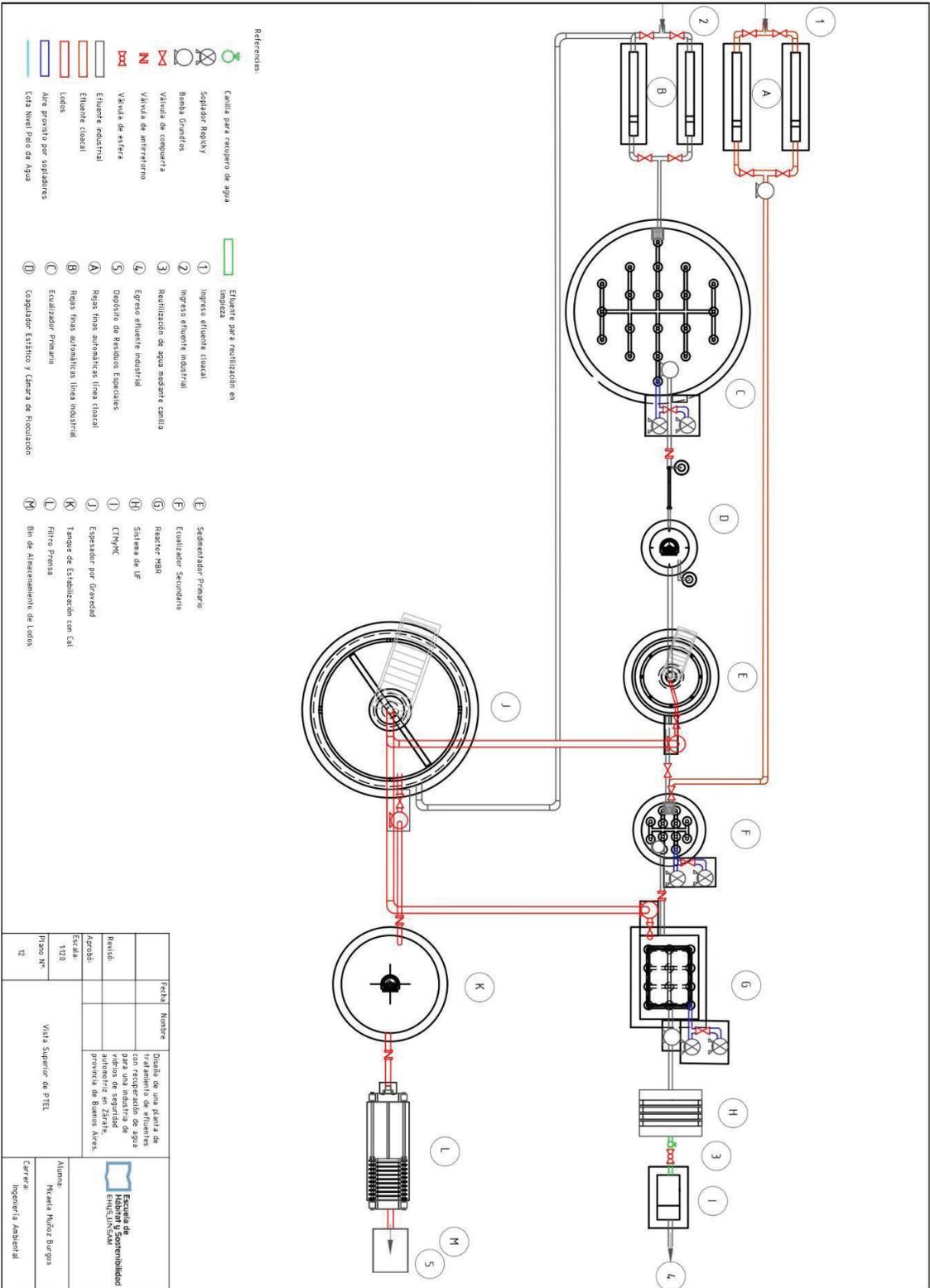


Vista Superior



Fecha:	Nombre:	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para el consumo de agua para industria de alimentos en Zárate, provincia de Buenos Aires.
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:	120	
Plano N°:	11	Unidad Cátedra Tema Maestría y Medidor de caudales
Alumno:		Marcela Muñoz Burgos
Carrera:		Ingeniería Ambiental



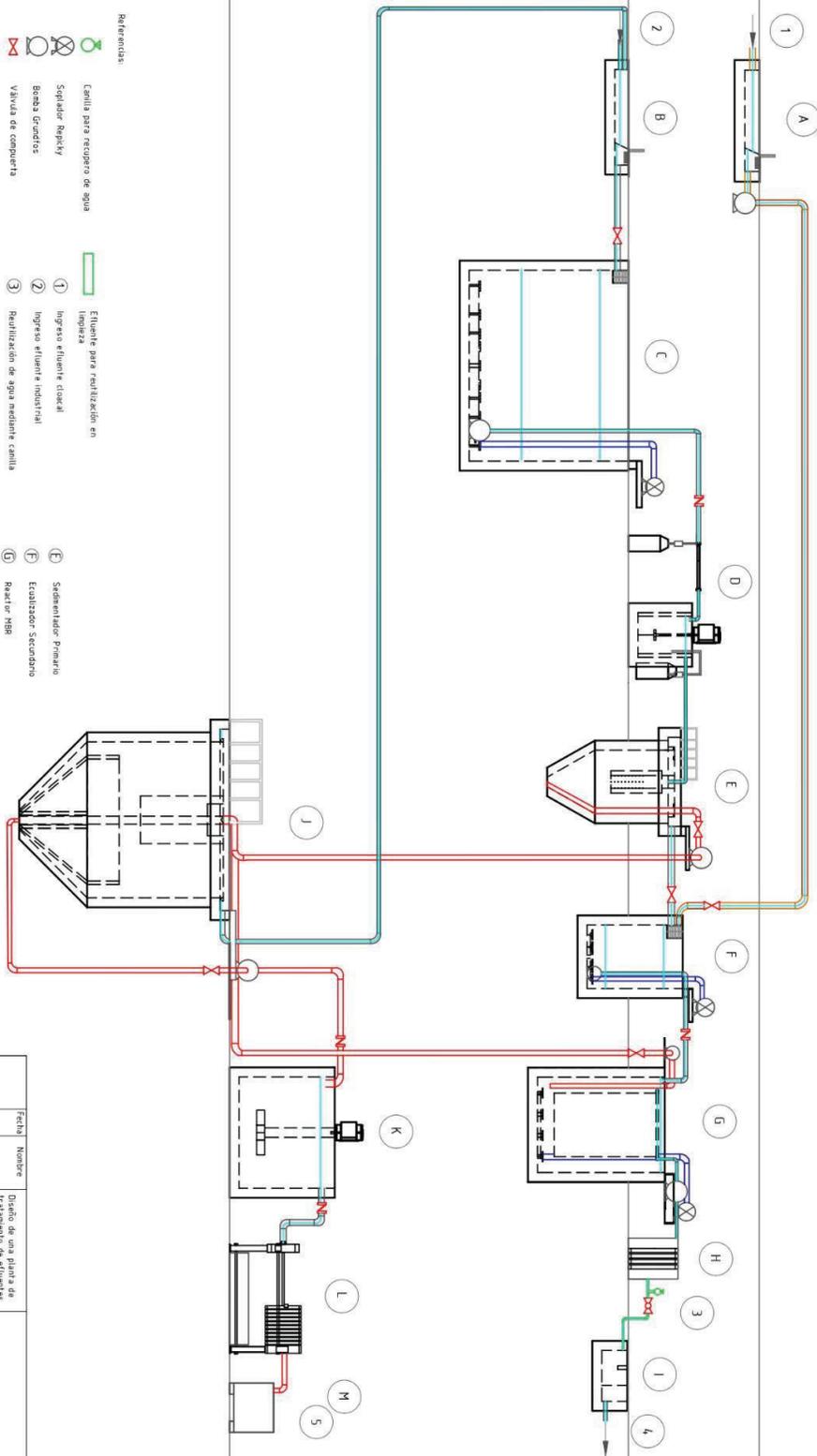


- Referencias:
- Capilla para recupero de agua
 - Soplador Regiky
 - Bomba Grundfos
 - Válvula de compuerta
 - Válvula de antirretorno
 - Válvula de esfera
 - Efluente industrial
 - Efluente cloacal
 - Aire precalor por sopladores
 - Cota Nivel Piso de Agua
- Efluente para neutralización en lagunas
- 1 Ingreso efluente cloacal
 - 2 Ingreso efluente industrial
 - 3 Rutilización de agua mediante capilla
 - 4 Egreso efluente industrial
 - 5 Depósito de Medidos Especiales
 - A Rigas finas autonáticas línea industrial
 - B Rigas finas autonáticas línea cloacal
 - C Equalizador Primario
 - D Capotador Estático y Cámara de Floculación
 - E Sedimentador Primario
 - F Equalizador Secundario
 - G Reactor nBB
 - H Sistema de UF
 - I CTHyMC
 - J Espesador por gravedad
 - K Tanque de Estabilización con Cal
 - L Filtro Prensa
 - M Bin de Almacenamiento de Lodos

Fecha	Nombre	Descripción	Escuela de Ingeniería Ambiental
		Diseño de una planta de tratamiento de efluentes con recuperación de agua para una industria de la provincia de Buenos Aires.	Escuela de Ingeniería Ambiental
			Alumna: Natalia Núñez Burgos
			Carrera: Ingeniería Ambiental
			Piano N° 12



Perfil Hidráulico



- Referencias:**
- Canilla para recupero de agua
 - Soplador RapiFly
 - Bomba Grundfos
 - Valvula de compuerta
 - Valvula de antirretorno
 - Valvula de estero
 - Efluente industrial
 - Efluente cloacal
 - Lodos
 - Aire presurizado por sopladores
 - Cola Nivel Pulo de Agua
- Efluente para reutilización en limpieza
 - Ingreso efluente cloacal
 - Ingreso efluente industrial
 - Reutilización de agua mediante canilla
 - Egreso efluente industrial
 - Depósito de Residuos Especiales
 - Regas fijas atmosféricas línea cloacal
 - Regas fijas atmosféricas línea industrial
 - Ecualizador Primario
 - Condensador Estático y Cámara de Floculación
 - Sedimentador Primario
 - Ecualizador Secundario
 - Reactor NBB
 - Sistema de UF
 - CTR/PTC
 - Espesador por gravedad
 - Tanque de Estabilización con Cal
 - Filtro Prensa
 - Bn de Atravesamiento de Lodos

Fecha	Nombre	Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria de automotriz en Zúñiz, provincia de Buenos Aires.	 Instituto de Ingeniería y Tecnología ETHS-UNSAM
Escala	Revisó		
TIPO	Aprobó		
Plano N°	Vista	Anterior de PTEL	
13			Alumno: Nicolás Nolas Burgos Carrera: Ingeniería Ambiental