

OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN UN MATADERO Y FRIGORÍFICO DE BRAGADO

ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE MEJORA

Proyecto Final Integrador
Ingeniería Ambiental

Autora: Olivia Suarez Cantero

Tutora: Vera Mignaqui

Buenos Aires, Argentina, 2025

Resumen Ejecutivo

El presente Proyecto Final Integrador tiene como objetivo diseñar una planta de tratamiento de efluentes líquidos para un matadero y frigorífico de Bragado, en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Actualmente, el establecimiento opera con un sistema de tratamiento que no cumple con las normativas ambientales vigentes, lo que genera un impacto negativo en el medio ambiente y la posibilidad de sanciones económicas.

El efluente industrial generado proviene principalmente del lavado de corrales, animales, calles, mangas de circulación, camiones y el lavado de reses y vísceras del tracto digestivo, lo que da lugar a una alta carga orgánica compuesta por orín, estiércol, sangre y restos de material ruminal. Además, se producen efluentes cloacales provenientes de los baños, vestuarios y áreas de servicio, los cuales también serán tratados en la planta. En términos de caudales, el matadero genera un caudal promedio de $26 \text{ m}^3/\text{h}$ con un caudal pico de $48 \text{ m}^3/\text{h}$, mientras que el efluente cloacal tiene un caudal de $3,6 \text{ m}^3/\text{día}$.

Para resolver esta problemática, se evaluaron dos alternativas de diseño del sistema de tratamiento de efluentes, asegurando que ambas cumplan con los límites de vuelco establecidos en la normativa vigente. La Alternativa 1 plantea la optimización del sistema de lagunas actual, mejorando su eficiencia sin incurrir en altos costos de inversión. La Alternativa 2 propone el reemplazo total del sistema actual mediante la instalación de un reactor UASB seguido por un tratamiento de lodos activos, lo que permitiría un proceso más compacto y eficiente, aunque con mayores costos operativos y de inversión.

Se realizó una evaluación comparativa de ambas alternativas considerando criterios como eficiencia en la remoción de contaminantes, generación de lodos, espacio requerido, consumo energético y costos de inversión y operación. A partir de este análisis, se determinó que la Alternativa 1 es la conveniente, ya que representa una solución tanto ambiental como económicamente viable, permitiendo alcanzar los niveles de calidad requeridos con una inversión inicial y costos operativos más bajos. Además, se diseñó un sistema de reutilización del agua tratada para su uso en la limpieza de corrales, caminos y camiones, contribuyendo a la reducción de la huella hídrica del emplazamiento y mejorando la sostenibilidad del proceso.

Índice

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.I Problemática ambiental del proyecto	5
I.II Justificación del proyecto	6
I.III Objetivo y alcance del proyecto	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

II.I La industria frigorífica	8
II.II Diagnóstico	9
II.III Estudios Preliminares	12
II.III.I Ubicación de la industria	12
II.III.II Cuenca del Río Salado	14
II.III.II.i Sistema hídrico del partido de Bragado	15
II.III.III Proceso Productivo	16
II.III.III.i Procesos ante-mortem y mortem	18
II.III.III.ii Preparación de la carne	18
II.III.III.iii Procesamiento y despacho de reses	20
II.III.IV Residuos Sólidos	21
II.III.V Efluentes Gaseosos	22
II.III.IV Efluentes Líquidos	22
II.III.IV.i Efluente Cloacal	22
II.III.IV.ii Efluente Industrial	23
Recirculación del Efluente	25
II.IV Marco Legal	25

CAPÍTULO III: MEMORIA DESCRIPTIVA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

III.I Pretratamiento	27
III.I.I. Rejas	28
III.I.II Tamiz	28
III.I.III Ecuilizador	29
III.II Tratamiento Primario	30
III.II.I Sistema de Flotación	30
III.II.II Pozo de Bombeo	32
III.III Tratamiento Secundario	32
III.III.I Alternativa 1	33
III.III.I.i Laguna Anaeróbica	35

III.III.I.ii Laguna Facultativa	36
III.III.II Alternativa 2	37
III.III.II.i Reactor anaeróbico con flujo ascendente y manto de lodos (UASB)	38
III.III.II.ii Lodos Activos	39
III.IV Tratamiento Terciario	40
III.IV.I Alternativa 1	40
III.IV.I.i Laguna de Maduración	40
III.IV.I.ii Cámara de Cloración	41
III.IV.I Alternativa 2	41
III.IV.I.ii Cámara de Cloración	41
III.V Tratamiento de Lodos	41
III.VI Cámaras de muestreo y medición de caudal	42
III.VII Análisis comparativo de alternativas	43

CAPÍTULO IV: MEMORIA DE CÁLCULO

IV.I Pretratamiento	46
IV.I.I Rejas	46
IV.I.II Tamiz	50
IV.I.III Ecualizador	50
IV.II Tratamiento Primario	54
IV.II.I Sistema de Flotación por Aire Inducido	54
IV.II.II Pozo de Bombeo	57
IV.III Tratamiento Secundario	58
IV.III.I Alternativa 1	58
IV.III.I.i Laguna Anaeróbica	58
IV.III.II.ii Lagunas Facultativas	60
IV.III.II Alternativa 2	64
IV.III.II.i Reactor anaeróbico con flujo ascendente y manto de lodos (UASB)	64
Sistema de Distribución	66
Colecta de Gas	69
IV.III.II.ii Lodos Activos	71
Diseño del Reactor Biológico	71
Diseño del Sedimentador	80
IV.IV Tratamiento Terciario	85
IV.IV.I Alternativa 1	85
IV.IV.I.i Laguna de Maduración	85
IV.IV.I.ii Cámara de Cloración	86
IV.IV.II Alternativa 2	88

IV.IV.II.i Cámara de Cloración	88
IV.V Tratamiento de Lodos	89
IV.I.I Generación de Lodos	89
IV.I.II Captación y deshidratación de lodos	92
IV.I.III Estabilización	93
IV.VI Cámara de Muestro y Medición de Caudal	94
IV.VII Sistema de Recirculación	94
IV.VIII Sistema de Conducción	95
IV.VIII.I Conducción por Gravedad	97
IV.VIII.II Conducción por Bombeo	99
IV.VIII.III Pérdida de Carga en Tuberías	100
IV.VIII.IV Nivelación de las Unidades de Tratamiento	102
IV.VIII.V Sistema de Bombeo	105
CAPÍTULO V: PRESUPUESTO ECONÓMICO	
V.I Inversión Inicial	108
V.I.I Alternativa 1	108
V.I.I Alternativa 2	111
V.II Costos de Operación y Mantenimiento	115
V.II.I Alternativa 1	115
V.II.II Alternativa 2	117
V.III Análisis de Factibilidad	118
SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	120
CAPÍTULO VI: PLANOS	122
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	130
Anexo 1	131
Anexo 2	133
Anexo 3	146

CAPÍTULO I: Introducción

I.1 Problemática ambiental del proyecto

La producción y procesamiento de carne tienen un rol significativo en la industria alimentaria a nivel global. Esta actividad abarca tanto la crianza de los animales como su posterior procesamiento industrial, el cual incluye la faena, el despiece para la producción de diferentes cortes de carne, el almacenamiento, y el posterior tratamiento de subproductos y desechos (Fernández, 2021).

Hoy en día, es de conocimiento común que la industria cárnica tiene un alto impacto ambiental, siendo una de las más contaminantes en el mundo. Sin embargo, pocas acciones se han llevado a cabo para hallar una solución práctica a esta problemática.

Entre los aspectos más destacados en cuanto al impacto que genera sobre el ambiente, se encuentran el alto consumo de agua, las altas emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de grandes cantidades de residuos sólidos, la expansión de la frontera agrícola (llevando a deforestación y el excesivo uso de agroquímicos), como también la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos. De hecho, el impacto ambiental más significativo de la actividad de mataderos es la generación de aguas residuales, tanto por los elevados volúmenes generados como por la carga de contaminantes asociada a ellas (Cárcel Carrasco & Grau Carrión, 2014). Estas tienen alto contenido de aceites, grasas, materia orgánica, y sólidos totales y suspendidos. Todos estos contaminantes, con un manejo inadecuado de los efluentes, pueden infiltrarse en las fuentes de agua cercanas, como ríos y acuíferos, causando problemas de calidad de agua y dañando los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, vale la pena resaltar que la industria de procesamiento de carne es una de las de mayor consumo de agua, utilizando un 24% del total del agua dulce consumida por el sector de alimentos y bebidas (Mekonnen & Hoekstra, 2012). En el proceso productivo, el agua es utilizada principalmente para limpieza, donde se estima que por cada animal vacuno faenado se requieren 1500 litros de agua (SENASA). Este consumo intensivo de agua puede llevar a escasez y sobreexplotación de recursos hídricos.

Estas problemáticas de contaminación por efluentes y del uso excesivo de agua están muy presentes en Argentina, siendo una de las principales potencias productoras de carne a nivel mundial. Además, existen diversos frigoríficos y mataderos a lo largo y ancho de todo el

país, que no están correctamente regularizados o que no realizan un apropiado tratamiento de sus efluentes, representando un riesgo para la salud humana y la biodiversidad. Este es el caso del objeto de interés para este proyecto final: un frigorífico y matadero de carne vacuna, ubicado en la localidad de Bragado.

I.II Justificación del proyecto

Este proyecto surge de la necesidad de realizar un manejo adecuado de los efluentes generados en un matadero y frigorífico de Bragado, Provincia de Buenos Aires. Esta empresa cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes deficiente y no cumple con la normativa vigente. En el año 2022, el matadero recibió una multa por incumplir con diversos requisitos como no exhibir constancia de seguro ambiental, no contar con permiso de explotación del recurso, no contar con permiso de vuelco, entre otros (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2022).

Se busca replantear el actual sistema de tratamiento con el fin de cumplir con la normativa, evitando así posibles multas futuras y/o clausuras, como también disminuir en la mayor medida posible el impacto negativo sobre el ambiente circundante a la planta productiva.

I.III Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo general del proyecto es proponer el diseño para la planta de tratamiento de efluentes líquidos del frigorífico y matadero de Bragado. Si bien en la actualidad dicho frigorífico cuenta con un sistema de tratamiento, este no cumple con diversas normativas, por lo que en el corto plazo deberá actualizar y/o modificar los procesos de su PTAR. Se busca disminuir sus valores de contaminación y establecerlos por debajo de los niveles máximos dictados por la normativa, protegiendo la salud privada, pública y la preservación del medio ambiente.

Para alcanzar este objetivo, se evaluarán dos alternativas de diseño con el fin de determinar la opción más conveniente en términos de eficiencia, costos y viabilidad técnica:

- Alternativa 1: Refacción del sistema actual de lagunas, buscando optimizar su funcionamiento y mejorar la calidad del tratamiento sin incurrir en gastos excesivos. Esta opción aprovecha la infraestructura y el terreno disponible, adaptando las lagunas existentes para cumplir con la normativa vigente.
- Alternativa 2: Reemplazo completo del sistema actual mediante la instalación de un reactor UASB seguido por un sistema de lodos activos. Esta opción busca un proceso

más compacto y eficiente, eliminando la necesidad de lagunas y reduciendo el tamaño total de la planta de tratamiento.

Ambas opciones serán evaluadas considerando las características del efluente, las condiciones del sistema de tratamiento actual, las limitaciones de espacio, los costos asociados y los límites de vuelco permisible. Además, se analizará la posibilidad de reutilizar el efluente tratado con el objetivo de reducir la huella hídrica del establecimiento.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

II.1 La industria frigorífica

La historia de la ganadería en Argentina se remonta al siglo XVI, con la llegada de los colonizadores españoles a América. Estos introdujeron el ganado vacuno en el territorio, donde antes únicamente se habían domesticado animales como la llama, la alpaca y la vicuña por los incas, o los pavos en el caso de los aztecas, aunque de manera muy primitiva (Bavera, 2008). Antes de la colonización, no había en el continente bovinos, ovinos ni equinos, y las vastas llanuras de la región en la pampa resultaron ideales para la cría y el pastoreo de ganado.

Con el correr de los años, la ganadería se convirtió en la principal actividad económica de Argentina. En 1882 y 1883 se construyeron los primeros frigoríficos en Argentina, “The River Plate Fresh Meat Co Ltd.”, de George Drabble y “La Elisa” propiedad de Eugene Terrasson, quienes comenzaron a preparar carne congelada en lo que antes eran saladeros (Bavera, 2008). Esto hizo que la demanda de carne vacuna aumente significativamente, principalmente por parte de los países europeos.



Figura 1. Frigorífico “La Elisa”, uno de los primeros frigoríficos en Argentina - Año 1904. Fuente: (Hardy, s.f.)

Así es como, para fines del siglo XIX, Argentina se posicionó como uno de los principales exportadores de carne del mundo, y los mataderos y frigoríficos se establecieron en diferentes regiones del país.

Hoy en día, la ganadería sigue siendo una actividad económica importante en Argentina, siendo este país uno de los cinco mayores exportadores de carne bovina del mundo (La Nación, 2023). Además, el consumo total de carne bovina por habitante en Argentina es aproximadamente de 60 kg al año (Ministerio de Agroindustria, 2018), con variaciones anuales en función a la situación económica, las políticas gubernamentales y las crisis financieras. Claro está que desde la introducción del ganado por los españoles hasta la consolidación de Argentina como un importante jugador en el mercado mundial de carne, esta industria ha desempeñado un papel fundamental en la economía del país.

Pero, como se mencionó anteriormente, además de influir en la economía, la industria cárnica también desarrolla un rol muy importante en la contaminación de cuerpos de agua, siendo una de las industrias con mayor poder contaminante si sus efluentes no son tratados de manera efectiva (Galotti & Santalla, 2009). La gran heterogeneidad del mercado en cuanto a tamaño, mercados, tecnología, etc. hace que también haya una gran diversidad en la cantidad y calidad de los efluentes vertidos al cuerpo de agua receptor. Si bien hay frigoríficos que han implementado tecnologías y prácticas de tratamiento minimizando su impacto ambiental de manera adecuada, también se han reportado y denunciado diversos casos de disposición ilegal o inadecuada de efluentes de mataderos en cuerpos de agua, como es el caso del frigorífico ubicado en Bragado.

II.II Diagnóstico

La Niña era un reconocido frigorífico de Bragado, comprado por Popovsky (el ex dueño) a la Municipalidad de Bragado en la década del 90. Este establecimiento generó múltiples puestos de trabajo durante sus años de funcionamiento, pero sin embargo, fue suspendido por el Gobierno en el año 2006 debido a que se adeudaban entre 4 y 5 millones de pesos a la AFIP, y durante los últimos 5 años no se habían efectuado los aportes jubilatorios ni se había pagado el impuesto por Ingresos Brutos (Cominiello, 2020).

Cuando la industria entró en quiebra y Popovsky abandonó el establecimiento en el 2006, muchos de sus antiguos trabajadores recuperaron el frigorífico y lo que era “La Niña SA” pasó a ser lo que hoy se conoce como “Cooperativa de Trabajo Frigorífico y Matadero Bragado Ltda”.

En la actualidad, el establecimiento tiene como principales actividades la matanza de ganado bovino, y la elaboración y conservación de la carne. Los servicios y productos que proveen son venta de carnes vacunas al por mayor y venta de media res en gancho (La Guía

Online, s.f.). Esto convierte al establecimiento en un frigorífico de ciclo 1, ya que el producto final de un animal son dos medias reses, y no se realiza una preparación final de la carne en salazones y chacinados. El personal del recinto está compuesto por un total de 75 trabajadores, los cuales trabajan en turnos distribuidos de manera tal que hay 60 trabajadores que atienden diariamente toda la semana (de lunes a domingo), con una jornada laboral de 10 horas.

En el año 2022, el matadero y frigorífico recibió una multa por parte del Gobierno de la provincia de Buenos Aires por el incumplimiento de diversas normas y procedimientos. Entre estos, algunos aspectos que se destacan en la resolución son los siguientes:

- El establecimiento no exhibe constancia de inscripción en la Autoridad del Agua.
- El establecimiento no exhibe constancia de seguro ambiental.
- La firma no posee permiso de vuelco.
- La firma no tramita documentación referente a las perforaciones de agua de uso industrial, refrigeración y sanitarios, en infracción al artículo 34 de la Ley N° 12.257.
- La firma no tramita documentación referente a unidades de tratamiento de efluentes líquidos industriales y posterior vuelco, y disposición de los efluentes cloacales a pozo absorbente, en infracción con el artículo 104 de la Ley N° 12.257.

De acuerdo con lo dicho en la resolución, línea roja y línea verde actual confluyen a un pozo de bombeo general, zaranda estática, sedimentador primario, dos cámaras desgrasadoras, cuatro sistemas de tratamiento de lagunas, una cámara de toma de muestras y una laguna receptora final dentro del predio. Sin embargo, tanto accediendo físicamente a él como por las imágenes satelitales, se puede observar que los sistemas de pretratamiento y tratamiento primario se encuentran en condiciones defectuosas, que el número de lagunas es mayor a cuatro, y que tienen dimensiones y geometrías distintas a lo recomendado (Figura 2). De hecho, la última laguna del tren, en la izquierda de la Figura, se encuentra muchas veces vacía debido a la alta evaporación e infiltración del agua.

Es fácil notar en la Figura 2 que las lagunas muestran coloraciones rojas intensas, lo cual puede significar dos cosas: por un lado, un tratamiento primario ineficiente donde cierta parte de la sangre llega a las lagunas otorgándoles esa coloración; y por otro, el rojo o rosado también puede estar dado por las bacterias fotosintéticas del azufre, las cuales son anaeróbicas y por ende indicaría que casi todo el tren de lagunas se encuentra en condiciones de anaerobiosis. En ambos casos, el color de las lagunas simboliza un funcionamiento ineficiente de estas.

Además, las lagunas no están impermeabilizadas y la alimentación se realiza por una canaleta abierta al aire libre que introduce el efluente de la planta por el costado lateral de la

laguna en lugar de por el margen superior (marcado por una línea roja en la Figura 2). Esto hace que el flujo del efluente a lo largo de la laguna no se realice de la manera más eficiente.



Figura 2. Imagen satelital del matadero y frigorífico de Bragado junto con su sistema de lagunas. En rojo se marca la canaleta de alimentación a éstas. Fuente: Elaboración propia.

También se pudo observar que, si bien la resolución afirma que el cuerpo receptor actual está constituido por una laguna receptora, también se realiza un vuelco al canal cercano a la planta. La canaleta de salida del efluente desde el sistema de lagunas hasta el canal está señalizada con el color azul en la Figura 3. Dado que no tiene ninguna estructura sino que está en contacto con la tierra, se considera que a lo largo del recorrido de salida, gran parte del efluente es además absorbido por el suelo.

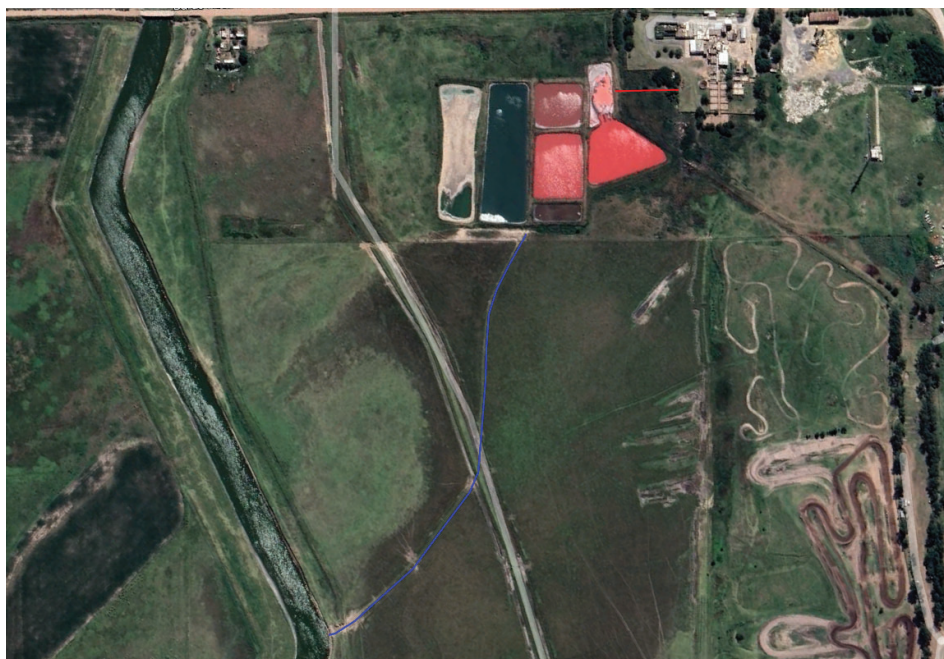


Figura 3. Imagen satelital ampliada de la zona del matadero y frigorífico. La línea azul muestra la canaleta de salida desde las lagunas hasta el canal ubicado a la izquierda del predio.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la resolución también informa que, actualmente, los efluentes cloacales generados en el sector sanitario son evacuados a pozo absorbente, previos a la cámara séptica, y que los barros generados son dispuestos dentro de los terrenos de la cooperativa para relleno.

Debido a todo lo mencionado anteriormente, resulta esencial que la industria mejore y adapte su actual sistema de tratamiento de efluentes tanto industriales como cloacales, con el fin de reivindicar todo lo observado por el personal técnico de la ADA durante su visita al establecimiento.

II.III Estudios Preliminares

II.III.I Ubicación de la industria

El frigorífico y matadero se encuentra en el partido de Bragado, ubicado en el centro noroeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 4), a 200 km de la CABA. Limita con los partidos de 9 de julio, 25 de mayo, Alberti, Chacabuco, Junín y Viamonte. La ciudad cabecera lleva el mismo nombre que el partido y es el centro económico, cultural, y político de la región.

Las demás localidades que lo integran son O'Brien, Mechita, Comodoro Py, Irala, Warnes, Olascoaga, Máximo Fernandez, La Limpia y Asamblea, todas de ámbito principalmente rural.

La economía de Bragado está basada principalmente en la agricultura, la ganadería y la producción de alimentos. La zona se destaca por sus extensas áreas rurales y sus cultivos son principalmente de soja, maíz, trigo y girasol. Además, la industria ganadera también es relevante en la zona.

La ciudad de Bragado tiene un total aproximado de 45.000 habitantes según el censo de 2022, y una superficie de 2.212 km² (Municipio de Bragado, 2023). Es al oeste de este municipio que se encuentra la industria en cuestión, donde la calle Pellegrini (una de las principales calles del pueblo) pasa a llamarse Dardo Rocha. La dirección exacta del emplazamiento es Dardo Rocha, altura 984.



Figura 4. A la izquierda, ubicación del partido de Bragado en la provincia de Buenos Aires. A la derecha, una vista satelital de la ciudad de Bragado con la ubicación de la industria marcada en rojo. Fuente: Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos et al., 2021 - Google Maps.

La industria cuenta con una superficie de 19 hectáreas, de las cuales 0,34 están destinadas a la zona de faenado y refrigeración, y aproximadamente 4 al tratamiento de los efluentes (Figura 5).



Figura 5. Vista satelital del Matadero y Frigorífico de Bragado. Marcado en azul se muestran los límites del terreno perteneciente a dicha industria. Fuente: Elaboración propia.

II.III.II Cuenca del Río Salado

Como se describe en la Figura 3, parte del efluente de la planta de tratamiento se vuelca en un canal que desemboca la laguna de Bragado. Tanto este canal como la laguna forman parte de la cuenca del Río Salado, la cual es la cuenca más grande de la Provincia de Buenos Aires, con un área de 167.110,84 km² (Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, s.f.). Como se puede observar en la Figura 6, la cuenca se desarrolla en la zona central y norte de la provincia, siendo su nacimiento en la Laguna Cañar en la Provincia de Santa Fé, y su curso principal el Río Salado, que desemboca al Río de la Plata, en la Ensenada de Samborombón.

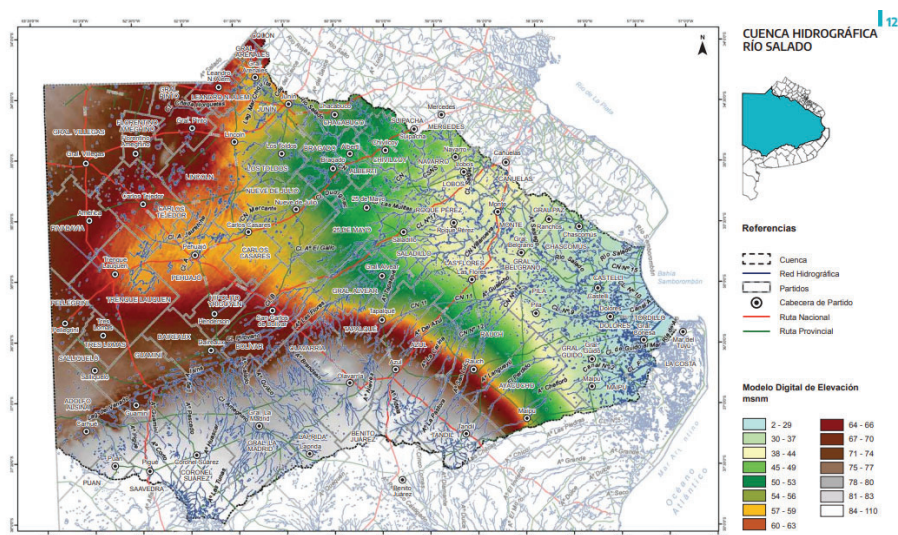


Figura 6. Cuenca Hidrográfica Río Salado en la Provincia de Buenos Aires. Fuente: Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, s.f.

La cuenca se caracteriza por presentar, en forma periódica y recurrente, inundaciones y sequías prolongadas que afectan la producción y economía de la región, dado que está predominada por la actividad agropecuaria (responsable del 25% al 30% de la producción nacional de granos y carne). La región superior de la cuenca tiene una actividad principalmente agrícola, y la inferior principalmente ganadera, aunque ambas tienen alta relevancia en la producción de leche (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, s.f.).

II.III.II.i Sistema hídrico del partido de Bragado

El partido de Bragado se establece principalmente en la zona conocida como Pampa Deprimida, por lo que tiene pendientes suaves con una altitud de entre 52,5 y 70 metros sobre el nivel del mar. Además, está atravesado por una red hídrica que forma parte de la cuenca del río Salado, en sentido suroeste-noreste, siendo el río Salado el principal corredor fluvial del Partido.

Estas condiciones de bajas pendientes dan lugar a la formación de una extensa superficie de lagunas y zonas anegadizas, principalmente en el sector sur del Partido (donde se encuentra la ciudad de Bragado). Este aspecto definió la necesidad de intervenir con obras de canalización, como es el caso del canal donde el frigorífico y matadero desemboca parte de sus efluentes: se trata de un canal de vinculación que conecta la laguna Municipal con la de Bragado, y que regula caudales (Figura 7).



Figura 7. Canal de vinculación que conecta la Laguna Municipal (a la izquierda) con la Laguna de Bragado (a la derecha), marcado en azul. Fuente: Elaboración propia.

Este sistema con presencia de lagunas y bañados son áreas de recarga para los acuíferos de la región. En épocas de lluvias prolongadas, la recarga aumenta y los niveles freáticos ascienden a la superficie, causando anegamiento e inundaciones.

En lo que refiere a las aguas subterráneas, se identifican tres sub acuíferos diferenciados: el freático (Epipuelche-Pampeano), el Puelche y el Hipopuelche. Los niveles freáticos dependen de la cota del terreno, con profundidades que pueden oscilar entre menos de un metro y 5 metros. En particular en la zona del proyecto, el nivel freático se encuentra alrededor de los 5 metros de profundidad. Por ser el más cercano a la superficie, y ser libre-semilibre, es el más vulnerable a la contaminación. El Puelche, en cambio, se encuentra a profundidades medias de 40 metros, y es la fuente actual de abastecimiento de agua para el consumo. El hipopuelche es un acuífero confinado que se encuentra en mayor profundidad, y cuyas aguas se consideran no potables (Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos et al., 2021).

II.III.III Proceso Productivo

Un matadero se encarga de convertir una o varias categorías de ganado en productos comerciables, tanto comestibles como no comestibles. Las etapas generales del proceso productivo de un matadero de Ciclo 1 se pueden dividir en tres secciones:

- Procesos ante-mortem y mortem
- Preparación de la carne
- Procesamiento de canales

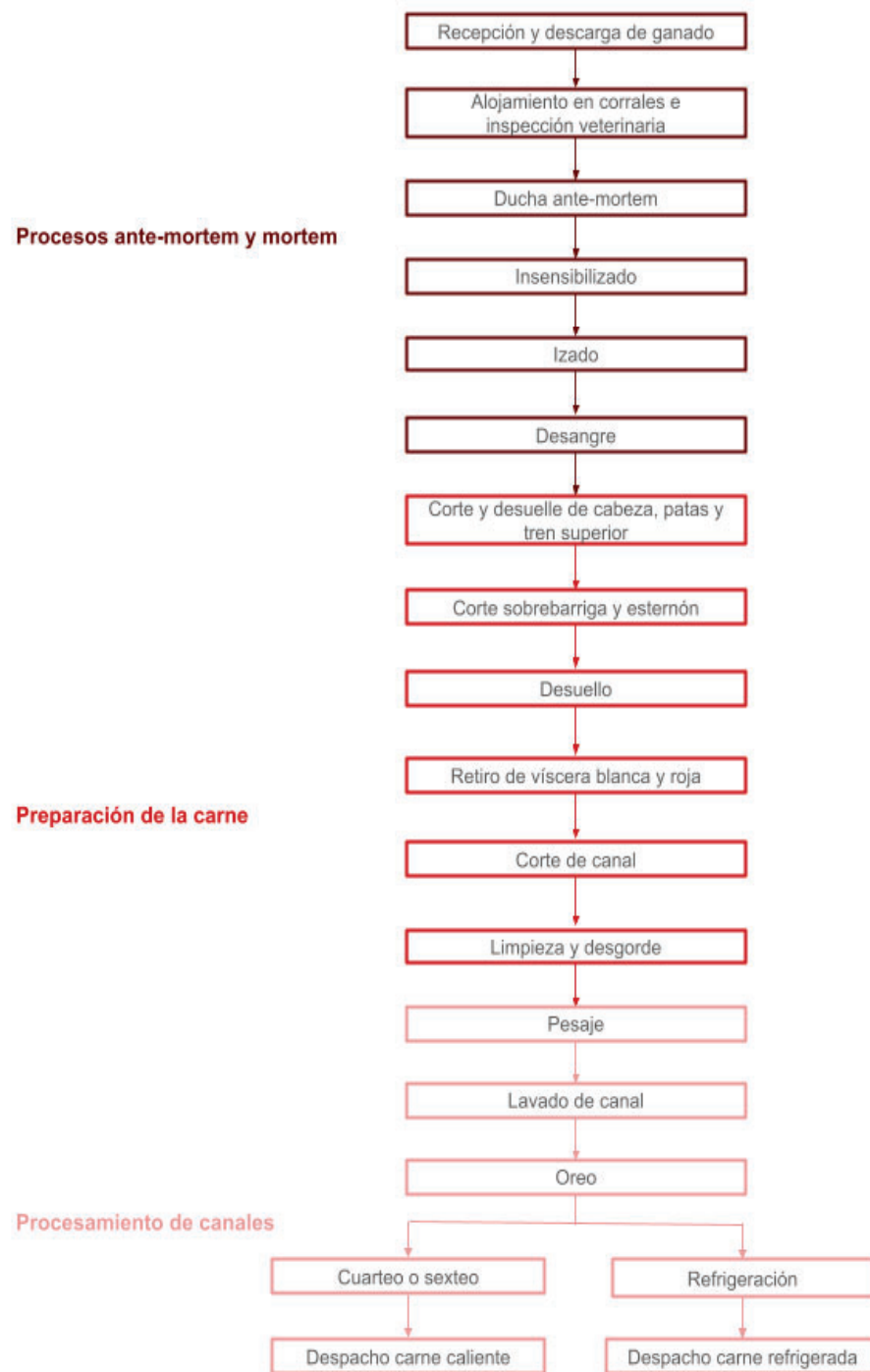


Figura 8. Esquema del proceso productivo de un matadero y frigorífico de ganado bovino. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se encuentra una descripción más detallada de las tres secciones mencionadas anteriormente:

II.III.III.i Procesos ante-mortem y mortem

La primera parte del procesamiento de la carne comienza con la recepción y descarga del ganado, el alojamiento de corrales, inspección veterinaria ante-mortem, la ducha ante-mortem, y también la insensibilización, el izado y el desangre.

La inspección veterinaria busca separar a aquellos animales que sean sospechosos de tener algún tipo de enfermedad, o estén lastimados y necesiten de reposo o sacrificio bajo condiciones especiales. Los animales autorizados pasan al corral, en espera a su turno de sacrificio. Media hora antes de iniciar la faena, los corraleros empiezan a mover el ganado en fila india desde los corrales hasta el toril de ingreso a la ducha (Moncayo Bedoya, 2006).

Una vez que el animal ingresa al box de insensibilización, se comienza por darle una ducha con chorros de agua para evitar contaminación cruzada, y luego es insensibilizado con una pistola neumática de perno cautivo.

Una vez insensibilizado, se procede a su izado por la pata izquierda, se coloca el vacuno sobre el riel de sangría, y el operario realiza una incisión en la piel para la punción de los vasos sanguíneos. Esto provoca el desangre del animal, por aproximadamente 6 minutos, garantizando finalmente la muerte final del mismo.

La sangre de degüello es recolectada in-situ para ser vendida como subproducto para la fabricación de embutidos. Asimismo, el excedente que pueda quedar pegado en equipos o en la canaleta es lavado y enviado al sistema de tratamiento por un canal de recolección denominado línea roja. A esta misma línea se le agrega luego el agua de limpieza de las instalaciones, máquinas y utensilios del resto de los procesos. Para esta limpieza se utiliza agua potable, y se desinfecta el área con jabón e hipoclorito diluído (Moncayo Bedoya, 2006).

II.III.III.ii Preparación de la carne

Esta etapa del proceso productivo contiene múltiples pasos, los cuales se describen a continuación y consisten en la preparación de la carne, donde se procesa al vacuno para convertirlo en dos canales:

- Corte y desuelle de cabeza, patas y tren superior.

Una vez desangrado el animal, se procede al corte de la cabeza, manos y cuello. Estas partes son lavadas de manera separada, y son despachadas como subproductos. También se provoca el desuello de las patas delanteras.

Luego, por medio de cortes circulares, se aísla el ano. Este proceso debe ser realizado con mucha atención y cuidado para evitar la contaminación de la carne y los despojos comestibles. A continuación se retira la pata trasera libre y luego la otra pata, enganchada al grillete izado. En este paso también se realiza el desuello de ambas patas y del tren superior (Moncayo Bedoya, 2006).

- Corte de sobrebarriga y esternón

En esta parte del proceso, se desprende la piel de la región ventral evitando daño a la sobrebarriga, para luego romper el esternón del vacuno utilizando una sierra. Una vez abierto, se realiza la evisceración del animal, que implica la eliminación de las vísceras y otras partes no deseadas (Moncayo Bedoya, 2006).

- Desuello

El desuello consiste en la completa extracción de la piel del animal, que llega con la piel despegada del pecho, paletas y miembros. Esto se hace fijando los miembros anteriores al piso y los posteriores al riel y se utilizan ascensores neumáticos para ayudar al desollado. La piel retirada sale del salón de sacrificio y es enviada hacia la sala de pieles donde se pesa y luego se despacha como subproducto (Moncayo Bedoya, 2006).

- Retiro de víscera blanca y roja

Para retirar la víscera blanca, se realiza un corte longitudinal desde el ano hasta el pecho por la línea media, y se extraen todas las vísceras blancas en la cavidad abdominal, que incluyen: panza, bonete, librillo y cuajar, intestino delgado y grueso, recto, ano y bazo. Luego se realiza un lavado de la cavidad abdominal. Es importante que este proceso se realice dentro de los 30 minutos posteriores al sacrificio del animal para evitar la contaminación del aparato circulatorio por las bacterias intestinales.

Una vez separadas las vísceras blancas, estas son tratadas aparte, donde se comienza por separar los intestinos de la panza y el librillo. Los tres son vaciados internamente, y la parte comestible se pesa y se refrigera, posterior a una inspección veterinaria. Finalmente se retiran como subproductos.

Para el retiro de la víscera roja, se realiza un corte en la tráquea para quitar tráquea, pulmones, corazón hígado y riñones. Una vez retiradas, se procesan de manera separada, donde son lavadas con agua a presión y, de la misma manera que las vísceras blancas, son inspeccionadas y colgadas en ganchos para ser trasladadas al área de refrigeración, para ser finalmente despachadas como vísceras congeladas. En este punto también se extrae la vesícula biliar, recolectando la bilis líquida que luego se comercializa (Moncayo Bedoya, 2006).

- Corte de res

Utilizando una sierra mayor y con la ayuda de una plataforma neumática, se realiza un corte por todo el centro del espinazo, por lo que finalizan quedando dos partes separadas de la res (Moncayo Bedoya, 2006).

- Limpieza y desgorde

A las medias reses se les retira la médula espinal, la parte donde se realizó la degolladura y también el sebo. Cuánto del sebo se retire depende del fabricante (Moncayo Bedoya, 2006).

II.III.III.iii Procesamiento y despacho de reses

La etapa final del proceso productivo consiste en la preparación de las reses para que estén listas para entrega. Se comienza por pesar la res, registrar el dato, para luego realizar un lavado de esta con agua a presión para eliminar sangre, espículas de hueso y demás suciedades. Luego, se vuelve a realizar un último enjuague para eliminar la mayor cantidad de sangre posible. Este agua de limpieza también se une a la línea roja.

Una vez limpias, se procede a dejar en reposo las reses con el fin de evitar un endurecimiento de la carne, como también para disminuir la temperatura de esta. A este proceso se le denomina oreo. Durante el tiempo que permanecen en la sala de oreo, se realiza la inspección veterinaria post-mortem de las canales, como también un control de calidad.

A partir de este punto, puede haber dos destinos: ciertos canales para consumo municipal salen del frigorífico y son distribuidos a los consumidores directamente. Otros canales, en cambio, son refrigerados con el objetivo de impedir el crecimiento de bacterias y actividad enzimática, como también prepararlas para el corte. Deben acomodarse de manera de estar separadas por 10 cm aproximadamente para permitir la circulación de aire. Además, la temperatura del cuarto debe ser de 4 °C.

Finalmente, estos canales también son despachados en camiones refrigerados a 4°C en el interior para no romper la cadena de frío.

II.III.IV Residuos Sólidos

En un matadero y frigorífico, se generan diversos subproductos sólidos que pueden ser recuperados o procesados para ser re-valorados económicamente. Estos incluyen restos que pueden ser utilizados para generación de otros alimentos como harina de sangre, harina de hueso, harina de carne, grasa bovina comestible, tripas, entre otros. También se pueden utilizar para productos farmacéuticos, principalmente las glándulas, o para productos industriales generales como las grasas para el jabón o las pieles y cueros. Por esta razón, muchos de los subproductos mencionados en la sección anterior son almacenados y distribuidos a otras unidades de negocio para su respectivo tratamiento y valorización económica.

Sin embargo, también se generan varios tipos de residuos que no pueden ser revalorizados, y los cuales pueden clasificarse en:

- Residuos orgánicos:

Estos provienen en gran medida de productos animales como carne no apta para el consumo humano, vísceras, huesos o sangre en la zona de producción y faenamiento. Además, tanto en la zona de los corrales como en el proceso de faenamiento, se genera excremento bovino que debe ser dispuesto de manera adecuada y sin ningún tipo de contacto con los canales procesados. Por otro lado, también se pueden generar restos de alimentos de los operadores del frigorífico, provenientes de la zona del comedor. En particular, las heces deben ser limpiadas en seco para luego ser enviadas a un proceso de compostaje, generando abono o fertilizante natural que puede ser utilizado en el mismo emplazamiento o campos ganaderos aledaños. Este compostaje se realizará en conjunto con el de los lodos generados por la planta de tratamiento.

- Residuos de envases y embalajes:

Estos incluyen elementos utilizados para el almacenamiento de ciertos productos secundarios como bolsas para las menudencias, o también envoltorios y empaquetados de los suministros entregados al matadero (como cuchillos, utensilios, productos químicos de limpieza), cuyos envases o paquetes son desechados luego de su uso. También algunos pueden provenir de la zona del comedor, donde se disponen bandejas, tupperware o paquetes de productos alimenticios consumidos por los trabajadores. Algunos

de estos productos que no estén contaminados pueden ser separados en tachos verdes para productos reciclables (plástico, papel y cartón). Sin embargo, muchos otros que no se encuentran limpios deben ser dispuestos a relleno sanitario.

- Residuos de limpieza y EPP:

Tanto en la zona de faenado y procesamiento, como en las oficinas y comedores de la planta, se pueden generar residuos de limpieza como papeles y trapos utilizados en las áreas de trabajo, y elementos de protección personal como guantes desechables, y delantales o monos de protección desechables. Estos residuos, que pueden contener tanto restos de sangre animal como productos químicos de limpieza, no pueden ser reciclados y deben ser dispuestos de manera correcta debido a que pueden contener restos de sangre o elementos patógenos.

- Residuos peligrosos:

Algunos materiales contaminados con sangre o fluidos corporales que pueden contener patógenos deben ser manejados como residuos peligrosos. Estos están presentes tanto en los residuos orgánicos como en bolsas o embalajes utilizados para el almacenamiento de la carne, residuos de trapos y papeles utilizados en la limpieza y EPP como los guantes o delantales. Además, los productos químicos de limpieza y desinfección/esterilización también son considerados residuos peligrosos y deben ser dispuestos como tal, como también residuos de medicamentos veterinarios utilizados en el tratamiento de los animales.

II.III.V Efluentes Gaseosos

Los principales gases emitidos en el matadero consisten en el metano y dióxido de carbono proveniente de la flatulencia de las vacas, como también de procesos de descomposición bacteriana que pueden generarse a partir de los residuos orgánicos.

II.III.IV Efluentes Líquidos

Como se mencionó anteriormente, se generan tres tipos de efluentes líquidos: las aguas rojas, las aguas verdes (ambos industriales), y las aguas cloacales.

II.III.IV.i Efluente Cloacal

Los efluentes asimilables a domiciliarios que se generan en los baños, vestuarios, cocina, comedor y demás instalaciones de la industria son actualmente dispuestos en un pozo

absorbente ya que la zona de implantación del proyecto no cuenta con red cloacal. Para disminuir el impacto que esto pueda generar sobre los suelos y aguas subterráneas aledañas, este proyecto propone que sean tratados en la planta de tratamiento de efluentes junto con los provenientes del proceso de faena. Entrará al sistema de tratamiento justo antes del tratamiento secundario, con el fin de utilizarlo como inóculo.

Como ya se mencionó, el personal del recinto está compuesto por un total de 75 trabajadores, que 60 atienden a la planta diariamente de lunes a domingo, con una jornada laboral de 10 horas (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2022). Aplicando una dotación de 60 litros por día por trabajador, resulta un caudal cloacal de 3,6 m³/día. Este caudal es considerablemente menor al industrial, por lo que no altera significativamente los parámetros fisicoquímicos del mismo. Los valores medios de cada parámetro del efluente cloacal se observan en la Tabla 1, los cuales se tendrán en cuenta a la hora de integrar el efluente cloacal a la línea industrial previo al tratamiento secundario.

Tabla 1. Caudal y caracterización fisicoquímica del efluente cloacal general a cualquier tipo de industria.

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	m ³ /d	3,6
DBO	mg/L	200
DQO	mg/L	500
SST	mg/L	250
Fósforo Total (P)	mg/L	10
Nitrógeno Total (N)	mg/L	50
Coliformes Fecales	NPM/100mL	10 ⁶ - 10 ⁸

II.III.IV.ii Efluente Industrial

El efluente industrial generado en los mataderos se recolecta en líneas de conducción: la línea verde y la línea roja. La línea verde conduce el agua de lavado de corrales y animales, calles y mangas de circulación de ganado, lavado de los camiones y también del lavado de las vísceras del tracto digestivo. Esto significa que está compuesta principalmente por orín, estiércol y rumen, y por ende tiene alto contenido de sólidos como lignina, celulosa, grasas y bacterias entéricas (Econsult, s. f.). Sin embargo, es importante resaltar que el primer paso clave para

disminuir la carga orgánica de la línea verde es la separación de las heces en seco, para enviarlas a compostaje.

La sangre del degüello es recolectada en un canal para ser vendida como subproducto. Una vez recuperada, el excedente de esta línea se junta con las aguas provenientes de la limpieza del proceso restante, y el lavado de las reses y los utensilios. Esta es la que se considera la línea roja, que se origina a lo largo del proceso de faena y tiene altos contenidos de proteínas y grasas.

Ambas líneas son recolectadas para ser enviadas conjuntamente al pretratamiento. La Tabla 2 presenta los valores de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan el efluente líquido residual de estas dos líneas en conjunto.

El matadero tiene una producción aproximada de 1.000 cabezas vacunas semanales, aunque se planea en los próximos años generar reformas para elevarla a 1.300 cabezas por semana (Agrositio, 2019). Asumiendo un consumo de 1,5 m³ de agua por animal faenado, una pérdida de 6,7% en el proceso productivo, en absorción/retención en paredes, pisos y maquinaria, etc. (Fernández, 2021), y que la empresa está en funcionamiento 7 días a la semana, con jornadas de 10 horas diarias, se obtiene un caudal de 1.819,35 m³/semana, equivalente a 26 m³/h. Este valor será redondeado para arriba con el fin de considerar el pequeño aporte de caudal realizado por las lluvias, o cualquier otra variación. Además, representa el caudal generado durante la operación; luego del ecualizador, este efluente cambiará y será continuo. A continuación, la Tabla 2 presenta los valores de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan al efluente líquido residual de la industria cárnica del presente proyecto, obtenidos a partir de bibliografía.

Tabla 2. Caudal y caracterización fisicoquímica del efluente crudo de una industria frigorífica a partir de datos bibliográficos de cinco fuentes distintas, junto con el valor final adoptado.

Parámetro	Unidad	F.J. Fernández, 2021	D. Muñoz, 2005	R. López Navajas, 2015	C.F. Bustillo Lecompte y M. Mehrvar, 2015	J. Fabregas, 2023	J.A. Ramirez Gastulo, 2017	Valor Adoptado
Caudal	m ³ /h	-	-	-	-	-	-	26
Temp.	°C	-	20	-	-	23	-	20
pH	u pH	6,8-7,5	8	6,2	6,5	6,5	6,94	6,8
DQO	mg/L	3600	3379,3	19040	5577	5000	6904	5000
DBO5	mg/L	2500	1770,7	11440	2649	3000	2500	3000
SST	mg/L		376	3092		3000	1844	2500
SSEE	mg/L	700	106,5	448			118	450

N total	mg/L			156	450	391,3	350
P total	mg/L	40	120	42,8	50	26,4	50

Recirculación del Efluente

Para reducir la demanda de agua de red y minimizar el impacto ambiental, es cada vez más común la implementación de sistemas de tratamiento y recirculación del agua, que permiten reutilizar el agua tratada para actividades secundarias que no requieren calidad de agua potable. Este proyecto, por ende, incluye un proceso de recirculación de agua que aprovecha el efluente tratado para usos específicos dentro del establecimiento. Tras pasar por etapas de tratamiento primario y secundario, el efluente se somete a una cloración final, garantizando que el agua cumpla con los requisitos de desinfección necesarios para su reutilización segura. Esta agua tratada se destinará a la limpieza de corrales, la humectación de caminos de tierra (para controlar la dispersión de polvo) y el lavado de camiones que transportan el ganado, reduciendo así el consumo de agua fresca en actividades que no requieren una calidad de agua potable.

Para facilitar el uso de este agua recirculada, se propone almacenar el efluente clorado en un tanque enterrado, utilizando una bomba para enviar el agua a los puntos de utilización cuando sea necesario. Al aplicar el agua tratada en superficies expuestas al suelo, como los caminos de tierra y las áreas de los corrales, se espera que esta se infiltre de manera natural, contribuyendo a la recarga del suelo y evitando acumulaciones superficiales de agua. Este sistema de recirculación permitirá reducir la dependencia del agua de red, optimizando el uso de recursos naturales y mostrando un compromiso con prácticas de gestión ambiental responsable.

II.IV Marco Legal

Dado que el efluente recirculado que se utilice en caminos, corrales o camiones se infiltrará por el suelo en mayor parte, y desembocará en cuerpo de agua en menor medida, se busca que las concentraciones de ésta cumplan con la de la normativa de la Resolución N° 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA), en el marco del Código de Aguas (Ley N° 12.557) de la provincia de Buenos Aires. Dentro de esta regulación, los valores límites utilizados son los de vuelco en conductos de agua o cuerpos de agua superficiales, dado que presentan valores más estrictos que aquellos para infiltración por suelo. Los valores numéricos de estos parámetros están detallados en la Tabla 3.

La parte del efluente final que no sea recirculado, se infiltra por suelo en el caso de la Alternativa 1, y es volcado en el canal aledaño al matadero en el caso de la Alternativa 2, y por ende deberá cumplir con los mismos límites que el agua de reuso.

Tabla 3. Límites de vuelco a cuerpo de agua superficial y colectora pluvial según la Resolución 336/03, y la Resolución 283/19 de ACUMAR para el caso de SST.

Parámetro	Unidad	Valor
pH	u pH	6,5 - 10
Temperatura	°C	≤ 45
DQO	mg/L	≤ 250
DBO5	mg/L	≤ 50
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	≤ 35
Aceites y grasas (SSEE)	mg/L	≤ 50
Nitrógeno total	mg/L	≤ 35
Fósforo total	mg/L	≤ 1 / ≤ 10

Dado que la Resolución 336/03 no especifica el valor máximo de sólidos suspendidos totales, se toma como referencia lo estipulado por el ACUMAR, siendo este el valor más restrictivo encontrado. Como se evidenció en la Tabla 3, el valor máximo de SST según la Resolución 283/19 es de 35 mg/L. Además, la concentración de fósforo total al final del tratamiento debe ser menor o igual a 1 en el caso de vuelco sobre cuerpo de agua, y menor o igual a 10 en el caso de infiltración por superficie. Por esta razón, será este último el que se tendrá en cuenta a la hora de diseñar la Alternativa 1.

En cuanto al agua de recirculación, el Metcalf recomienda parámetros de la caracterización de esta que son similares a los mostrados en la Tabla 3 (DBO y SST alrededor de 30 mg/L, y pH entre 6 y 9). Sin embargo, la tabla no detalla los valores de Cloro y de E. Coli que debe tener el agua utilizada para limpieza, los cuales deben ser mayor o igual a 1 mg/L y mejor o igual a 200 UFC/100 mL respectivamente (Metcalf, 2003).

Si se compara la Tabla 2 con la Tabla 3, el único parámetro que se encuentra dentro del rango determinado por la resolución es el pH. Los demás deben ser ajustados para poder ser volcados en un cuerpo de agua superficial, lo que se relaciona directamente con el objetivo del diseño de la planta de tratamiento de efluentes que buscará reducir los niveles de los parámetros para que cumplan con la normativa establecida.

Además, el desarrollo del proyecto también tiene como marco legal a leyes nacionales y provinciales, junto con ordenanzas municipales, que se detallan en la Tabla 1 del Anexo 1.

CAPÍTULO III: Memoria descriptiva y análisis de alternativas

Este capítulo busca describir el diseño general de la planta de tratamiento, analizando las posibles alternativas de diseño, con el objetivo de seleccionar preliminarmente un tren de tratamiento primario, secundario y terciario óptimo, en función de las características del agua residual, la normativa a cumplir y otros factores como los ambientales, de infraestructura y económicos.

Para ello, se parte de la base de que se realizarán un pretratamiento y tratamiento primario que serán iguales para ambas alternativas. Si bien actualmente la planta cuenta con estos sistemas de tratamiento, no se encuentran en condiciones aptas para su utilización, y por ende se desestimaré el uso de esos elementos, generando un nuevo sistema desde el inicio. El fin de estas unidades es que el efluente esté en condiciones de ingresar al tratamiento secundario. Además, el efluente cloacal, que actualmente es enviado a un pozo absorbente, se unirá a la línea justo antes del tratamiento secundario, a través de un pozo de bombeo.

Debido a la naturaleza biodegradable del efluente (dado que la relación DBO5/DQO tiene un valor por encima de los 0,4), se optó por alternativas biológicas de tratamiento secundario, con el fin de remover la mayor parte de la materia orgánica posible. La primera alternativa consiste en una mejora y optimización del sistema actual de tratamiento secundario, el cual está compuesto por un tren de lagunas de estabilización; y la segunda alternativa, en cambio, consiste en un tratamiento con un reactor anaerobio seguido de uno aeróbico. En caso de ser esta la alternativa elegida, se realizará la gestión del cierre de las lagunas existentes.

Además, en esta etapa de tratamiento se realizará la remoción de los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo para que cumplan con la resolución. Dado que el destino principal del efluente tratado será la reutilización para riego y limpieza de ciertos sectores como corrales, camiones y caminos, también se realizará un tratamiento terciario de cloración con el objetivo de eliminar patógenos. Además, también se deberá realizar el tratamiento adecuado de los lodos generados para ambas alternativas.

III.I Pretratamiento

La etapa de pretratamiento tiene el objetivo de preparar el efluente para las etapas posteriores, principalmente eliminando los sólidos gruesos y arenas que pueden entorpecer el tratamiento y la eficiencia de los equipos, máquinas e instalaciones. Además, de ser necesario, se realiza una nivelación de temperatura, pH, carga orgánica y caudal. En este caso, el pretratamiento del efluente industrial está compuesto por un sistema de rejas, un tamiz estático para la segregación de los sólidos presentes, seguido por un ecualizador.

Cabe resaltar que en el caso del efluente cloacal, el pretratamiento consistirá únicamente de un sistema de rejas finas.

III.I.I. Rejas

La primera etapa del pretratamiento consiste en un sistema de rejas, las cuales son dispositivos de aberturas de tamaño uniforme, constituidos por barras dispuestas paralelamente, utilizados para retener sólidos y materiales gruesos presentes en el afluente que podrían dañar los equipos y bombas subsiguientes en el proceso, obstruir cañerías y reducir la eficacia general del tratamiento. En este caso, estos sólidos pueden ser tanto materia fecal o rumen proveniente de los corrales y del lavado de las vísceras del tracto digestivo (transportados en la línea verde), como también lo transportado por la línea roja que incluye restos de vísceras, recortes, huesos, cuero, estopas, entre otros.

En la parte superior de la reja se coloca una placa perforada o un canasto, donde se dejan reposar temporalmente los residuos rastrillados mientras que se escurre el líquido remanente en ellos por los orificios de la placa.

En cuanto a las eficiencias de remoción, las rejas gruesas y finas pueden llegar a eliminar entre un 5 y un 25 % de sólidos en suspensión (Ramalho, 2003).

III.I.II Tamiz

Dado que el efluente a tratar contiene grandes concentraciones de sólidos suspendidos finos, resulta necesaria la instalación de un tamiz a continuación del sistema de rejas. La función de ambos equipos es similar, pero el tamiz está destinado a sólidos de menor tamaño (desde 2,5 milímetros en los tamices gruesos y hasta 50 micrómetros en los tamices finos). Se utilizará un tamiz estático en lugar de uno dinámico, dado que se trata de un caudal relativamente bajo.

Los tamices estáticos son de bajo costo y fácil mantenimiento, dado que están predispuestos para trabajar sin energía ya que no llevan partes móviles. Tienen una forma de

“tobogán”, donde el flujo es distribuido homogéneamente a lo ancho del tamiz, y es esa curvatura la que permite al líquido pasar a través de las aberturas, mientras los sólidos son retenidos y desplazados por la cara superior de la malla filtrante al labio de descarga inferior (Hidrometálica, s. f.). Esta geometría se puede observar en la Figura 9 a continuación.

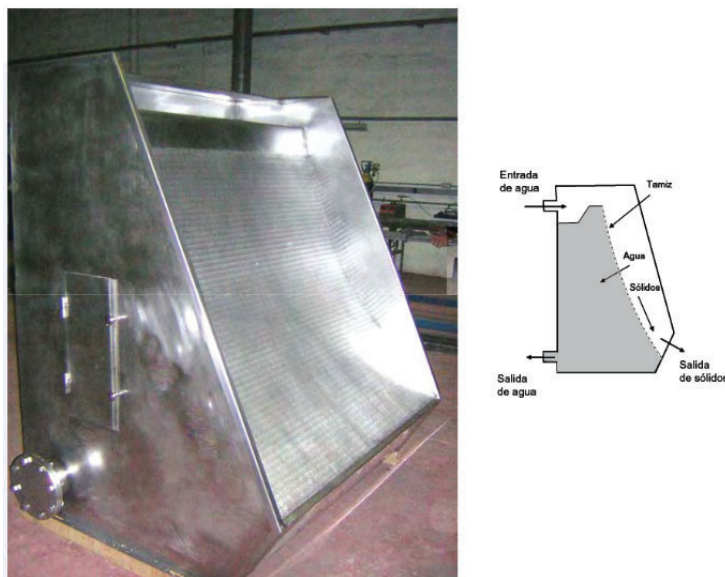


Figura 9. Imagen y esquema de un tamiz estático. Fuente: Catálogo tamiz estático GEDAR.

El material removido por el tamiz será llevado al tratamiento terciario de compostaje con los otros materiales sólidos como las heces. El agua residual sobrante es distribuida hacia el ecualizador para proseguir con su tratamiento. Si bien el mantenimiento es mínimo, debe realizarse una limpieza manual diaria de los sólidos removidos.

La eficiencia de remoción de esta unidad alcanza valores de alrededor del 20% para la DBO y 30% para los SST (Metcalf, 2003).

III.I.III Ecualizador

Una vez removidos los sólidos suspendidos y materiales gruesos, el efluente pasa por un sistema de ecualización con el fin de minimizar o controlar fluctuaciones en las características del efluente, de forma de proveer condiciones óptimas para los procesos subsiguientes en el tratamiento. Algunos de los propósitos específicos de este sistema son obtener una mezcla homogénea de características como el pH y la temperatura, proporcionar una amortiguación adecuada para las fluctuaciones orgánicas a fin de prevenir que los sistemas biológicos sufran shocks de carga, prevenir ingresos tóxicos puntuales, y amortiguar las variaciones de caudales

para conseguir un caudal constante que ingrese al tratamiento primario, entre otros (Eckenfelder, 2000).

En la planta de tratamiento de este proyecto, se utilizan tanques de nivel variable en lugar de los de nivel constante. Esto se debe a que los tanques de nivel variable permiten que el efluente salga a un caudal constante y ayudan a neutralizar el flujo de entrada. Dado que el caudal de entrada varía con el tiempo, el nivel del tanque también lo hace.

Además, la mezcla será proporcionada por difusores en lugar de sistemas de aireación mecánica. Esta decisión está basada en ciertas ventajas que provee la aireación por difusores, como un ahorro de energía eléctrica de hasta un 50%, menores costos de mantenimiento, eliminación de zonas muertas en cualquier geometría del ecualizador y en cualquier profundidad, entre otros (Repicky, s.f.). Dado que el interés está en mezclar y no airear, los difusores utilizados serán de burbuja gruesa, y se dispondrán en sistema de grillas movibles para facilitar su arreglo en caso de averías.

III.II Tratamiento Primario

El tratamiento primario tiene como principales objetivos la sedimentación de sólidos sedimentables y en suspensión, y la flotación de grasas y aceites. Estos tratamientos se caracterizan por remover partículas suspendidas y coloidales (de tamaños menores a los removidos en las etapas anteriores), mediante procesos que pueden ser tanto físicos como químicos. En el caso de este proyecto, se utilizará un sistema de flotación IAF para la separación de grasas y aceites, que a su vez conlleva un arrastre de los sólidos suspendidos. Seguido de este equipo, se contará con un pozo de bombeo donde se añadirá el efluente cloacal para enviar todo en conjunto hacia el sistema de tratamiento secundario.

III.II.I Sistema de Flotación

El objetivo principal de los sistemas de flotación es separar grasas y materia flotante, aunque dependiendo de la tecnología usada también se pueden separar algunos sólidos en suspensión. Hay dos clasificaciones principales de los sistemas de flotación, donde por un lado se destacan los sistemas de flotación simples, conocidos como cámaras desengrasadoras, los cuales únicamente necesitan un tiempo de permanencia correcto para que las grasas floten por diferencia de densidad hacia la superficie; y por otro lado, se encuentran los sistemas de flotación forzada, donde se insufla aire o un gas desde el fondo para empujar las grasas y materia flotante hacia la superficie.

Actualmente, el tratamiento primario cuenta con sistemas de cámaras desengrasadoras. Sin embargo, la reducción de grasas y sólidos suspendidos obtenidos por estas es ineficiente, y posiblemente sea uno de las grandes problemáticas del sistema de tratamiento actual. Por esta razón, se decide cambiar el sistema de flotación simple por uno forzado.

Dentro de los sistemas forzados, los más conocidos son el de flotación por aire inducido (IAF) y el de flotación por aire disuelto (DAF). El primero consiste en una flotación simple con aireadores, ya sea difusores o por un impulsor o turbina, mientras que el segundo, además de inyectar aire desde el fondo, también cuenta con una recirculación de una mezcla del efluente tratado con el aire disuelto en él.

Dado que el efluente en cuestión no cuenta con un nivel de grasas y aceites excesivamente alto, se optó por utilizar un sistema IAF, ya que requiere menos espacio y tiene un menor costo que el DAF (Eckenfelder, 2000). El DAF tiene mayores costos eléctricos, requiere de un compresor, un saturador, y mayores costos de mantenimiento, servicio y monitoreo. Sumado a esto está el hecho de que muchas veces se requieren polímeros caros y complejos de conseguir.

El IAF utiliza burbujas más grandes, lo que lleva a un sistema de flotación más compacto y por ende que requiere menos espacio. En este sistema, el líquido fluye a través de un tanque de sección rectangular y atraviesa una corriente de microburbujas de aire generadas por difusores situados en la parte inferior del equipo, o por rotores/turbinas sumergidas. Estas microburbujas se adhieren a las partículas presentes en el líquido, como grasas y aceites, y las transportan hacia la superficie, haciendo posible que asciendan partículas de mayor densidad que el líquido. La cantidad de aire necesaria en sistemas IAF es alrededor del 400% del flujo de agua residual en volumen, y se suelen emplear bajos tiempos de retención. Las partículas que ascienden conforman un manto estable en la superficie que crece a medida que transcurre el tiempo, y el cual es luego removido con un barredor superficial que dirige el flotado hacia un extremo para que se vierta en una cámara colectora de grasas (Marin Ocampo y Osés Pérez, 2013).

El sistema de flotación IAF logra eficiencias de remoción de aproximadamente 90% para aceites y grasas, y mayor a 70% para sólidos suspendidos totales, dado que estos son arrastrados por la aireación, y las grasas y aceites (Eckenfelder, 2000). Además, debido a esta remoción de SST, también se produce una reducción de aproximadamente el 20% de DBO y DQO (Hidalgo Ruiz, 2015).

Para el caso de la segunda alternativa, se deberá agregar coagulante y floculante en el sistema de manera que se alcancen los valores de fósforo y nitrógeno que cumplan con los límites de vuelco. Añadiendo como coagulantes y floculantes 30 mg/L de PAC y 10 mg/L cal, se

pueden reducir las concentraciones de fósforo y nitrógeno en un 80% y un 70% respectivamente (Eckenfelder, 2000).

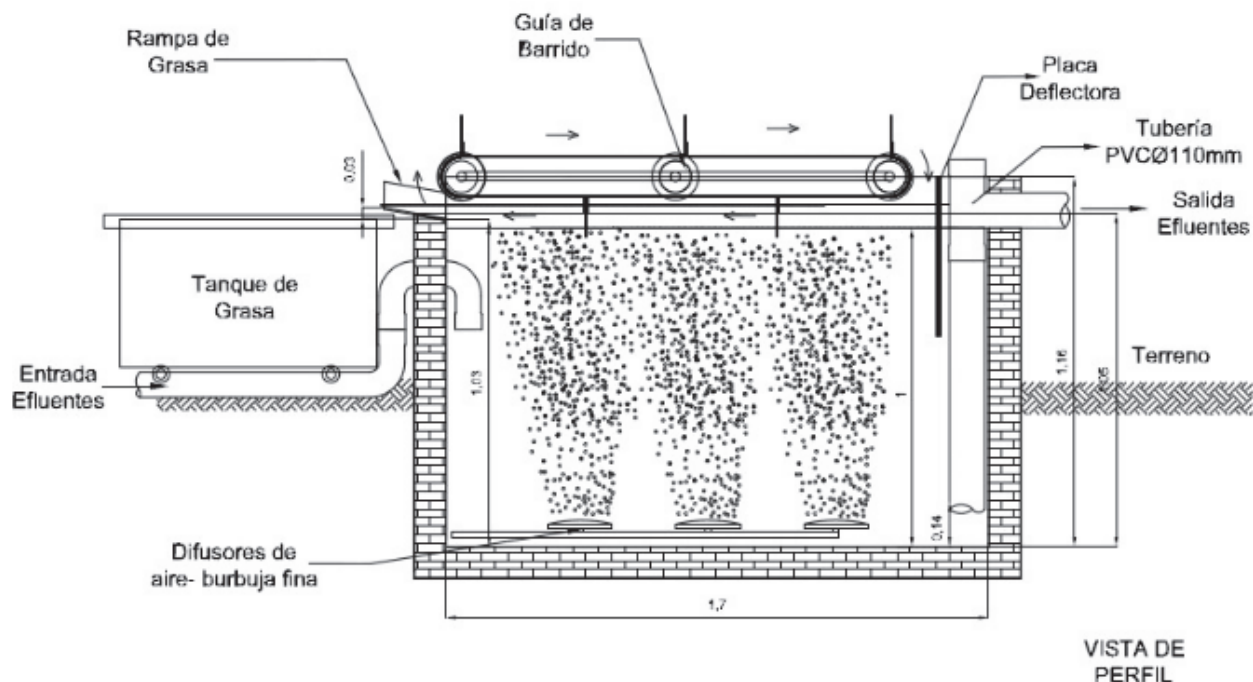


Figura 10. Esquema de un sistema de flotación por aire inducido con difusores de aire de burbuja fina.

Fuente: Cátedra Procesos Industriales, Ingeniería Ambiental UNSAM (2021)

III.II.II Pozo de Bombeo

Justo antes de ingresar al tratamiento secundario, el efluente pasa por un pozo de bombeo, donde se unirá con el efluente cloacal (de muy bajo caudal), para ser enviados en conjunto hacia el tratamiento secundario. Se opta por este equipo, en lugar de un segundo ecualizador, debido a que el efluente cloacal es insignificante en términos de carga orgánica y caudal frente al efluente industrial.

III.III Tratamiento Secundario

El objetivo del tratamiento secundario es remover las sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, como también ciertos nutrientes que puedan estar en exceso como el nitrógeno y el fósforo. Esto se realiza mediante un proceso biológico donde microorganismos como bacterias transforman (oxidán) la materia orgánica del agua residual para

su propio crecimiento, generando como producto biomasa adicional, la cual se retira en forma de “lodos” por sedimentación.

Estos microorganismos requieren de una fuente de energía, carbono y nutrientes adecuada para reproducirse de la manera más eficiente para el tratamiento, para lo cual se debe asegurar una relación de carbono/nitrógeno/fósforo de 350/7/1 para el caso de procesos anaeróbicos, y de 100/5/1 para el caso de aeróbicos, donde el carbono se representa mediante la DBO.

Los efluentes cloacales contienen una gran cantidad de microorganismos que son fundamentales para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales, y es por esta razón que no se le realiza un tratamiento primario al efluente cloacal del matadero, sino que ingresa, luego de su correspondiente pretratamiento, a la unidad de tratamiento secundario a modo de inóculo.

Es en esta etapa de tratamiento biológico donde el proyecto presenta dos alternativas distintas. Por un lado, la Alternativa 1 propone realizar mejoras y optimización del sistema de lagunas actual, el cual consiste en un tren de lagunas de estabilización. Por otro lado, la Alternativa 2 plantea tratamiento con un reactor UASB, seguido por uno de lodos activos, con el fin de minimizar la cantidad de terreno utilizada para el tratamiento. En el caso de ser la Alternativa 2 la más adecuada, también se realizará el cierre de las lagunas.

III.III.I Alternativa 1

Como primera alternativa de diseño, se propone la mejora y optimización del sistema de lagunas actual, donde se tendrán en cuenta los desvíos observados en el relevamiento de las condiciones actuales del sistema. Como se mencionó anteriormente, en la sección II.II de Diagnóstico, la planta de tratamiento actual se encuentra con diversos problemas de funcionamiento, teniendo como consecuencia la generación de malos olores que afecta a los vecinos del barrio, como también una contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Algunos de los arreglos que deberían realizarse en el sistema actual son los siguientes:

- La canaleta de alimentación hacia la primera laguna debe ser cambiada por una canaleta cerrada y que ingrese por el margen superior de ésta, en lugar del costado.
- Las canaletas entre una laguna y la otra también deberían ser rediseñadas.
- La primera laguna será una anaeróbica, que deberá ser redimensionada e impermeabilizada.

- La segunda laguna será una facultativa, que también debe ser redimensionada e impermeabilizada.
- La tercera laguna será una segunda laguna facultativa en serie, la cual también será redimensionada e impermeabilizada.
- La cuarta laguna, que se encuentra casi vacía, será una de maduración, y por ende no será impermeabilizada y también deberá ser redimensionada.

Las lagunas de estabilización son grandes volúmenes de agua que favorecen el desarrollo de microorganismos para el tratamiento de las aguas residuales. Se puede utilizar para aquellas plantas que cuentan con suficiente espacio y donde no hay riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Existen principalmente tres tipos de lagunas de estabilización: las anaeróbicas, las facultativas, y las aeróbicas. También existen las llamadas lagunas de maduración, las cuales no son parte del sistema de tratamiento, sino que se puede agregar como paso final en el tren de lagunas para una desinfección natural.

Los trenes de lagunas, además, siempre van de mayor a menor profundidad (y en general de menor a mayor área de superficie). En particular, la combinación de lagunas anaeróbicas y facultativas en serie, constituye una solución interesante por la disminución del área total requerida, y es por esta razón que la alternativa 1 propone comenzar con una laguna anaeróbica, seguida de dos facultativas.

Vale aclarar que esta alternativa, si bien no significa el cierre de las lagunas sino que su adecuación, deberá encargarse de la disposición temporal del efluente que se encuentra actualmente en ellas para poder realizar las tareas de refacción. Este proceso se describe con más detalle a continuación.

Proceso de Refacción de Lagunas

La refacción de las lagunas de tratamiento del matadero se llevará a cabo en etapas para minimizar el impacto en el manejo de los efluentes y permitir la continuidad del tratamiento. Este proceso escalonado consiste en vaciar y reparar cada una de las lagunas por separado, mientras se redistribuye el efluente entre las demás lagunas en funcionamiento o, en caso necesario, se almacena temporalmente en camiones cisterna.

El proceso de refacción de una laguna de tratamiento comienza con su vaciado completo, seguido por una limpieza profunda donde se retira cualquier sedimento acumulado en el fondo. Luego, se llevan a cabo trabajos de movimiento de tierra para ajustar la profundidad o dimensiones de la laguna según los nuevos requerimientos de tratamiento. Esta etapa puede incluir la excavación para aumentar su capacidad o la compactación de los bordes y fondo para

mejorar la estabilidad estructural. Finalmente, se procede a impermeabilizar la laguna aplicando una membrana sintética que recubre toda la superficie, evitando filtraciones hacia el suelo y asegurando la contención del efluente durante el tratamiento.

1. **Etapas 1: Refacción de las Lagunas Anaeróbicas**

La primera etapa será la refacción de las lagunas anaeróbicas. Para vaciar estas lagunas, se redistribuirá el efluente que contienen hacia las lagunas facultativas y de maduración, según su capacidad. En caso de que el volumen exceda la capacidad de estas lagunas, una parte menor del efluente se almacenará temporalmente en camiones cisterna hasta que las lagunas anaeróbicas estén listas.

Una vez concluida la refacción, se procederá a la puesta en marcha gradual de las lagunas anaeróbicas. El llenado inicial se hará de manera progresiva, permitiendo que el efluente almacenado en las otras lagunas y en los camiones cisterna, si es el caso, se transfiera poco a poco, permitiendo que los microorganismos anaeróbicos se establezcan y actúen en condiciones óptimas.

2. **Etapas 2: Refacción de las Lagunas Facultativas**

Tras la estabilización de las lagunas anaeróbicas, se procederá a la refacción de las lagunas facultativas. De manera similar al proceso anterior, el efluente en estas lagunas se redistribuirá hacia las otras lagunas, y se comenzará por refaccionar por completo la primera laguna facultativa antes de comenzar con la segunda. La puesta en marcha de las facultativas también requerirá un llenado progresivo para permitir el establecimiento de microorganismos y asegurar que los niveles de oxígeno y la actividad biológica alcancen el equilibrio deseado para el tratamiento de efluentes.

3. **Etapas 3: Refacción de la Laguna de Maduración**

Durante esta última fase, el efluente estará siendo tratado por el sistema de lagunas completo hasta llegar a esta última laguna. Al igual que en las etapas previas, el llenado inicial de la laguna de maduración se hará de forma controlada para permitir el desarrollo y estabilización de las bacterias responsables de la depuración final del efluente.

Este enfoque en etapas permite optimizar el uso de las lagunas disponibles, minimizar los costos de transporte y asegurar la estabilidad del sistema a medida que cada laguna vuelve a estar en funcionamiento.

III.III.I.i Laguna Anaeróbica

Este tipo de lagunas están cargadas a un nivel que existen condiciones anaeróbicas a lo largo de todo el volumen líquido, donde principalmente ocurre formación de ácidos orgánicos, seguidos por fermentación metanogénica. El tirante de agua para estas lagunas suele ser de

entre 3 y 5 metros. Cuanto más profundas son, más se conserva la temperatura y mejores condiciones de anoxia. Sin embargo, puede tener como limitante el nivel de la napa freática, como también el tipo de suelo. En casos donde la napa se encuentra muy cerca, se crean terraplenes para formarlos por encima del nivel del suelo y que la laguna esté más elevada, lo que a su vez disminuye costos ya que la excavación de grandes cantidades de tierra puede ser un servicio costoso.

Hoy en día, las lagunas anaeróbicas suelen ser cubiertas, con el fin de evitar la generación de malos olores y la liberación de gases contaminantes a la atmósfera, además de favorecer el proceso de anaerobiosis. Como desventaja, el cubrir las lagunas dificulta saber cuándo colapsan, y por ende es necesario contar con un sistema de toma de muestras.

El porcentaje de remoción de DBO para las lagunas anaeróbicas suele estar entre el 40% y el 70% dependiendo de la temperatura (Bailat, 2021). Los sólidos suspendidos totales alcanzan valores de remoción del 70%, los cuales se acumulan en el fondo de la laguna hasta que ésta colapse o que sean removidos mediante limpieza, la cual debe realizarse cada entre 5 y 10 años (Reutelshöfer et al., 2015).

III.III.I.ii Laguna Facultativa

Este tipo de lagunas también puede ser cabecera del tren, pero el espacio necesario es ampliamente mayor que en el caso de las anaeróbicas, y tienen un tirante líquido de entre 1 y 2,5 metros.

En ellas, conviven microorganismos anaeróbicos en el fondo, facultativos en la zona intermedia, y aeróbicos en la capa superficial. Además, son lagunas fotosintéticas dado que tienen algas y plantas verdes. La presencia de algas verdes indica un buen funcionamiento con un correcto balance de nutrientes. La presencia de algas azules muestra una menor eficiencia, con pHs más neutros y deficiencia de nutrientes. Por último, también se pueden presentar coloraciones rosas o rojas (como es el caso de las lagunas actuales del matadero), lo cual representa que hay procesos anaeróbicos sucediendo dentro de las lagunas. En general, esta coloración es dada por las bacterias fotosintéticas del azufre, que se acercan a la zona superficial y oxidan los sulfuros a azufre elemental.

Al haber algas en esta laguna, los nutrientes removidos (fósforo y nitrógeno), no serán únicamente aquellos consumidos por el metabolismo de los microorganismos, sino que también por las algas. La remoción de nitrógeno se ve favorecida por procesos como la volatilización de amoníaco y la nitrificación-desnitrificación, que son facilitados por la oxigenación a través de las algas y la aireación superficial. El fósforo se elimina principalmente mediante la precipitación

química inducida por las altas concentraciones de pH que generan las algas. La remoción puede llegar a hasta un 80% de nitrógeno, y un 50% de fósforo (U.S. EPA, 2002).

Como se mencionó anteriormente, se colocarán dos lagunas facultativas en serie. Estas tienen un porcentaje de remoción de DBO mayor que las anaeróbicas, que puede estar entre el 80% y el 95% (Orjuela Montoya & Charry Agudelo, 2019). Por otro lado, el porcentaje de remoción de SST es del 60% (Reutelshöfer et al., 2015), y estas lagunas suelen tener una remoción de coliformes totales de entre el 90 y 99,9% (Vázquez, s. f.). Con estos valores de remoción, el efluente final luego del sistema de lagunas cumple con las condiciones de vuelco para SST y DBO.

III.III.II Alternativa 2

La segunda alternativa consiste en un sistema de tratamiento anaeróbico de UASB, seguido de un sistema aeróbico de lodos activos. Si bien los lodos activos son uno de los tratamientos secundarios más comunes, no se suelen utilizar directamente tras el tratamiento primario en los mataderos e industrias de procesamiento de carnes. Esto es principalmente por dos motivos: los altos costos operativos derivados del alto consumo de oxígeno requerido, y la importante producción de fangos (Fabregas, 2023). Además, la presencia del reactor UASB previo a los lodos activos puede disminuir significativamente el espacio requerido.

Vale aclarar, por otro lado, que esta alternativa también debe considerar la gestión del cierre de las lagunas presentes, lo cual incluirá gastos adicionales al sistema, como se detalla a continuación.

Proceso de Cierre de Lagunas

En este caso, el efluente acumulado en las lagunas deberá ser retirado y transportado a una planta de tratamiento externa, ya que el nuevo sistema UASB seguido por lodos activos no podría tratar de manera rápida los grandes volúmenes de efluente almacenado. Este traslado implica el uso de camiones cisterna para el vaciado de cada laguna y es un aspecto importante a considerar en los costos.

El proceso de cierre de las lagunas comienza con el vaciado completo y limpieza de sedimentos acumulados. Una vez vacías, se realiza un movimiento de tierra para dismantelar las estructuras y dejar el terreno nivelado, rellenando los espacios excavados hasta alcanzar una superficie uniforme. Dado que las lagunas actuales no están impermeabilizadas, no será necesario remover membranas, pero sí es posible que se necesite comprar tierra adicional para completar el relleno y garantizar que el área quede al nivel deseado y sin depresiones.

Finalmente, se compacta el terreno para evitar hundimientos futuros, y, si es necesario, se reforesta o recubre con vegetación para estabilizar el suelo y prevenir la erosión. Este proceso de cierre asegura que el área quede completamente rehabilitada y lista para un uso alternativo o para integrarse en el entorno natural sin impactos negativos al medio ambiente.

III.III.II.i Reactor anaeróbico con flujo ascendente y manto de lodos (UASB)

Este tratamiento, también denominado UASB por sus siglas en inglés (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), es una tecnología anaeróbica usualmente empleada en el tratamiento de efluentes. Por su geometría y dimensiones, permite disminuir la carga orgánica del efluente utilizando poco espacio.

En la operación de este equipo, el efluente ingresa por la parte inferior del reactor y fluye hacia arriba a través de un manto de lodo, donde microorganismos anaerobios descomponen la materia orgánica, generando biogás. La campana de separación trifásica en la parte superior del reactor permite la recolección del biogás, la extracción del efluente tratado (sobrenadante), y la recirculación del lodo al fondo del reactor. Componentes como el distribuidor de flujo y los baffles aseguran una distribución uniforme del efluente, y un flujo ascendente eficiente, mientras que los puntos de muestreo permiten controlar el crecimiento del lodo para mantener la eficacia del proceso.

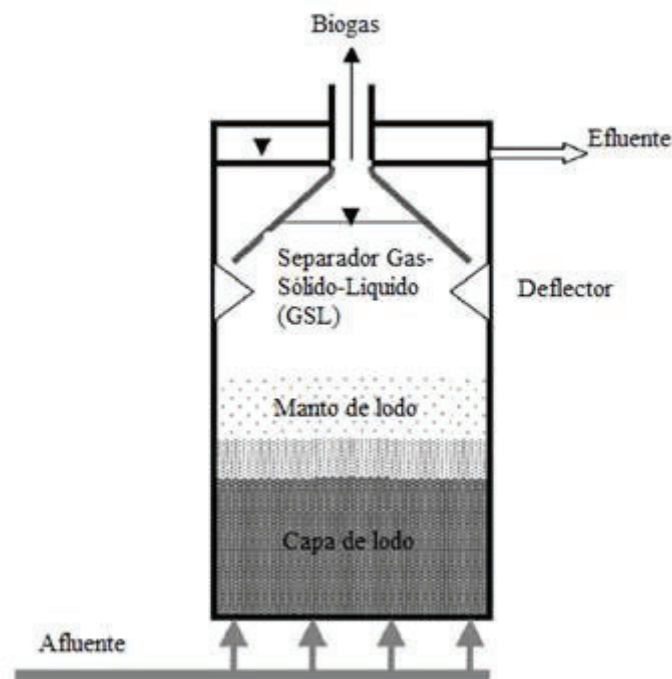


Figura 11. Esquema de reactor UASB. Fuente: Gandarillas et al., 2017

La eficiencia de remoción de DBO de este tipo de reactores anaeróbicos suele llegar a valores de hasta el 80%, y la de SST a un 70% (Ramirez Gastulo, 2017).

III.III.II.ii Lodos Activos

Se trata de un proceso biológico aeróbico de alta carga en el cual la biomasa se encuentra en suspensión en el seno del fluido, asimilando la materia orgánica disuelta, junto con oxígeno y nutrientes, para producir nuevas células, dióxido de carbono y agua.

El sistema consta de dos unidades básicas independientes: el reactor de aireación y el sedimentador. En el reactor ocurre lo mencionado anteriormente, donde los microorganismos se alimentan y se agrupan en flóculos formando una masa microbiana (denominada lodo activo), que aumenta debido al crecimiento de los microorganismos. Es importante que este reactor cuente con un sistema de aireación, ya sea por difusores o aireación mecánica, proporcionando una concentración de oxígeno uniforme en todo el tanque para que el crecimiento microbial sea de mayor eficiencia (López Navajas, 2015).

El sedimentador secundario se encarga de la separación de los lodos activos generados en el reactor mediante gravedad, teniendo como resultado un efluente clarificado. Además, en este proyecto el tratamiento por lodos activos cuenta con una recirculación, donde parte del lodo o fango separado en el fondo del sedimentador es recirculado al reactor con el fin de mantener la concentración de biomasa constante.

No todos los lodos serán recirculados, sino que una fracción se purga para su correcto tratamiento y disposición final. Estos lodos son los denominados lodos en exceso y permiten conocer la edad de los lodos (López Navajas, 2015).

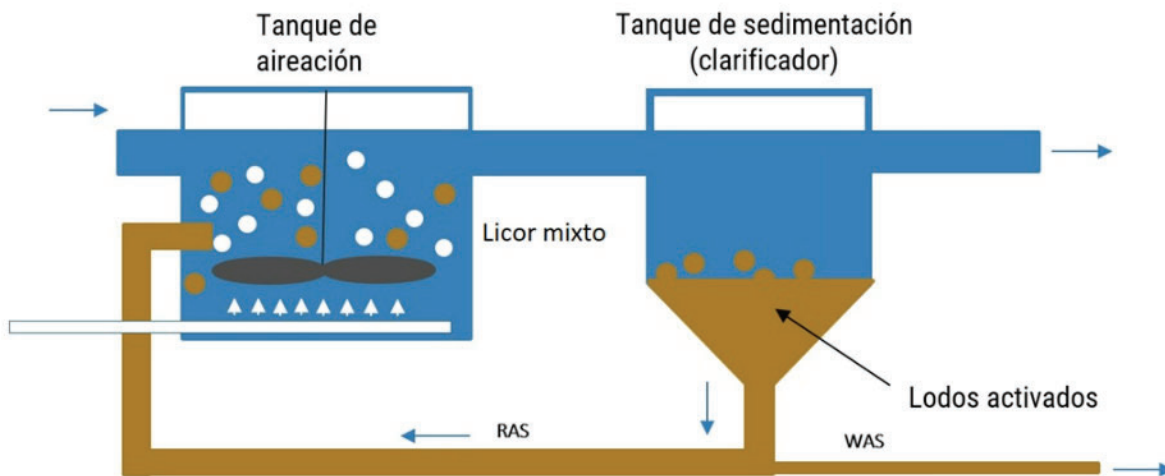


Figura 12. Diagrama del sistema de lodos activados con reciclo, compuesto por un tanque de aireación y un sedimentador primario. Fuente: Sela, G. 2023

El porcentaje de remoción de DBO y SST del sistema de lodos activos es alrededor del 90% para ambos parámetros (Bustillo-Lacompte et al., 2015).

III.IV Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario representa la fase final, donde se busca desinfectar el efluente para eliminar microorganismos patógenos restantes, como también nutrientes en exceso, para cumplir con los estándares establecidos por la normativa y prevenir la propagación de enfermedades hídricas, y la proliferación de microorganismos y algas. Además, es necesario clorar el efluente para poder reutilizarlo en la limpieza de caminos, camiones y corrales.

III.IV.I Alternativa 1

En el caso de la Alternativa 1 se tratará de una laguna de maduración, seguida por una cámara de cloración.

III.IV.I.i Laguna de Maduración

Las lagunas de maduración no se consideran parte del sistema de tratamiento como las tres anteriores, dado que su finalidad no es remover el contaminante, sino que una desinfección natural. Es por esto que cuando se colocan estas lagunas, siempre es al final del tren de tratamiento, donde se utilizan como medio de recepción o de vuelco. A diferencia de las lagunas anteriores, estas no se impermeabilizan.

Se les denomina como lagunas de desinfección, porque reduce los elementos patógenos, principalmente virus y bacterias, a un nivel adecuado a la normativa y/o al reuso. Por lo general, tienen entre 0,8 y 1,2 metros de profundidad, para permitir la penetración de la luz y condiciones aeróbicas. Los parámetros que afectan la desinfección son factores físicos como la temperatura y la sedimentación, físico-químicos como el pH, la radiación solar, y el oxígeno disuelto, y bioquímicos y biológicos como la concentración de nutrientes y presencia de depredadores.

III.IV.I.ii Cámara de Cloración

Si bien la laguna realiza una remoción de aproximadamente el 99% de los coliformes totales (Arena et al., 2005), la concentración de estos a la salida de la laguna sigue siendo muy elevada. Es por esta razón que, para poder recircularlo, se debe desinfectar y clorar el efluente. Para esto, se utiliza una cámara de cloración, debido a su gran poder residual y su bajo costo. Para caudales grandes (mayores a 500 m³/d) se suele utilizar cloro gaseoso, pero dado que esta industria tiene un caudal significativamente menor, se utilizará cloro líquido en forma de hipoclorito sódico, la cual también es una alternativa más económica. Este agente químico se dosifica en el sitio donde ingresa el efluente a la cámara laberíntica.

III.IV.I Alternativa 2

III.IV.I.ii Cámara de Cloración

En el caso de la Alternativa 2, únicamente se tratará de una cámara de cloración cuya función será en este caso tanto agregar cierta concentración de cloro para permitir su reutilización, como también la desinfección de patógenos. La forma de la cámara será muy similar a la de la Alternativa 1, aunque las dimensiones y concentración de cloro a utilizar serán distintas.

Una vez desinfectado y con cierta concentración de cloro, ambas alternativas contarán con un sistema de recirculación, donde parte del efluente será enviado a un tanque de almacenamiento para su utilización en la limpieza de caminos, corrales y camiones, mientras que el resto permanecerá en la laguna de maduración (en el caso de la alternativa 1), o será volcado en el canal de vinculación aledaño a la planta (en el caso de la alternativa 2).

III.V Tratamiento de Lodos

En todas las etapas de tratamiento se generan lodos que deben ser tratados y dispuestos de manera acorde. En el caso de este proyecto, la cantidad y frecuencia de lodos que deberá ser tratada dependerá de la alternativa. Si bien los lodos generados en el pretratamiento y tratamiento primario serán los mismos, este no será el caso para el tratamiento secundario de cada alternativa.

En el caso de la Alternativa 1, los lodos generados en la laguna anaeróbica y las facultativas se removerá mediante una bomba de succión, que en el caso de la anaeróbica estará ubicada fuera de la laguna, y en el caso de las facultativas estará en una draga (o bote succionador de lodos). Esta bomba se alquilará para remover los lodos cada entre 3 y 6 años en el caso de la laguna anaeróbica, y cada 5 y 10 años en el caso de las facultativas (Reutelshöfer, 2015). En cambio, la remoción de lodos del sistema UASB y el de lodos activos para la Alternativa 2, ocurrirá de manera más recurrente que para las lagunas.

Sin embargo, el proceso de tratamiento de lodos será el mismo en ambos casos. Los lodos generados tienen una alta proporción de agua, por lo que deben ser procesados antes de poder realizar su correcta disposición. En el caso de este proyecto, el proceso seleccionado para tratar los lodos es la deshidratación por filtros de banda. Los filtros utilizan una banda transportadora para separar el agua del lodo, dado que una parte de la banda tiene una malla de filtro por donde se filtra el agua, dejando el lodo seco en la parte superior (Ecopreneur, 2023).

El líquido separado de estos lodos será reintroducido en el sistema de tratamiento, a la etapa de pretratamiento. Debido al bajo caudal que presentan, su aporte es despreciable y por ende no altera el valor inicial del mismo. Por otro lado, los sólidos tratados serán dispuestos en pilas de compostaje, junto con las heces y los demás sólidos recopilados en el proceso productivo y el sistema de rejillas. El producto final luego del tratamiento de compostaje, es tierra fértil que puede ser utilizada tanto dentro de las instalaciones como ser vendida a los productores aledaños para sus campos agrícolas.

III.VI Cámaras de muestreo y medición de caudal

La construcción de una cámara de toma de muestras y medición de caudales (CTMyMC) es obligatoria acorde a la Resolución 607/12 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, la cual decreta que todos aquellos establecimientos industriales y/o especiales comprendidos en el artículo 2° del decreto N° 674/89, tienen la necesidad de contar con estos equipos con el fin de ejercer las funciones de fiscalización de la autoridad de aplicación.

Además, también es útil para un control interno de la empresa. La CTMyMC debe estar ubicada dentro del predio de la planta de tratamiento de efluentes, pero con acceso libre externo.

III.VII Análisis comparativo de alternativas

Este segmento busca realizar un primer análisis cualitativo entre ambas alternativas de tratamiento secundario. Para esto, se tendrá en cuenta la eficiencia teórica esperada de remoción de DBO y SST, la generación de lodos, los costos, el espacio superficial requerido, el consumo energético, la remoción de nutrientes, la flexibilidad operacional, y la dependencia de las condiciones ambientales, con el objetivo de distinguir aquella que, a priori, parezca la más apropiada.

La Tabla 4 presenta la comparación entre las dos alternativas, en función de los aspectos generales mencionados anteriormente. En primer lugar, es importante destacar que ambas alternativas presentan altos porcentajes de remoción de DBO y de SST, lo que se alinea con el hecho de que ambas alcanzan valores de vuelco finales que satisfacen los límites requeridos por normativa.

Si bien el análisis realizado es cualitativo, se le asignaron valores numéricos entre 1 y 3 para diferenciar aquellas características positivas (representado con el número 3 y el color verde), de aquellas que son regulares (de número 2 y color naranja), y de aquellas que son negativas (representadas con el número 1 y de color rojo). Por ende, al sumar los valores numéricos de todas las características, la alternativa que presenta mayor puntaje total es aquella que presenta mayores características positivas, y por ende la más conveniente.

Tabla 4. Análisis comparativo cualitativo entre las dos alternativas propuestas para el tratamiento secundario.

Alternativa 1: Refacción de lagunas		Parámetros	Alternativa 2: UASB + Lodos Activos	
3	98,4	Remoción de DBO (%)	98	3
3	95	Remoción de SST (%)	97	3
3	Alto	Remoción de Nutrientes	Regular	2
2	Regular	Generación de lodos	Alto	1
1	Alto	Espacio Ocupado	Bajo	3
3	Bajo	Consumo Energético	Alto	1
2	Regular	Flexibilidad Operacional	Bajo	1
1	Alto	Dependencia a cond. ambientales	Regular	2

1	Alto	Costo de inversión	Alto	1
2	Regular	Costo de mantenimiento	Alto	1
21		Puntaje Total		18

Si se compara el puntaje total obtenido para cada alternativa, se puede inferir que la Alternativa 1 es la más apropiada. Si bien ambas presentan altos porcentajes de remoción de DQO y SST, la Alternativa 1 tiene a favor que genera un menor volumen de lodos, conlleva un menor consumo energético, tiene una mayor flexibilidad operacional, y un menor costo de mantenimiento que la Alternativa 2. Esta segunda alternativa tiene a favor que ocupa menos espacio, y tiene una menor dependencia de las condiciones ambientales. Sin embargo, en este caso el espacio no es una limitante, dado que el área requerida para las lagunas ya se encuentra disponible para tal uso. Por ende, la conclusión a primera instancia es que la refacción de las lagunas actuales será la mejor alternativa para el tratamiento secundario de los efluentes del matadero de Bragado. Dicha hipótesis será confirmada, sin embargo, al terminar el siguiente capítulo.

Previo al diseño, se presenta un esquema general de la planta de tratamiento final para cada una de las alternativas, detallando tanto la corriente del efluente industrial como el cloacal, la corriente de lodos, y la corriente de aire.

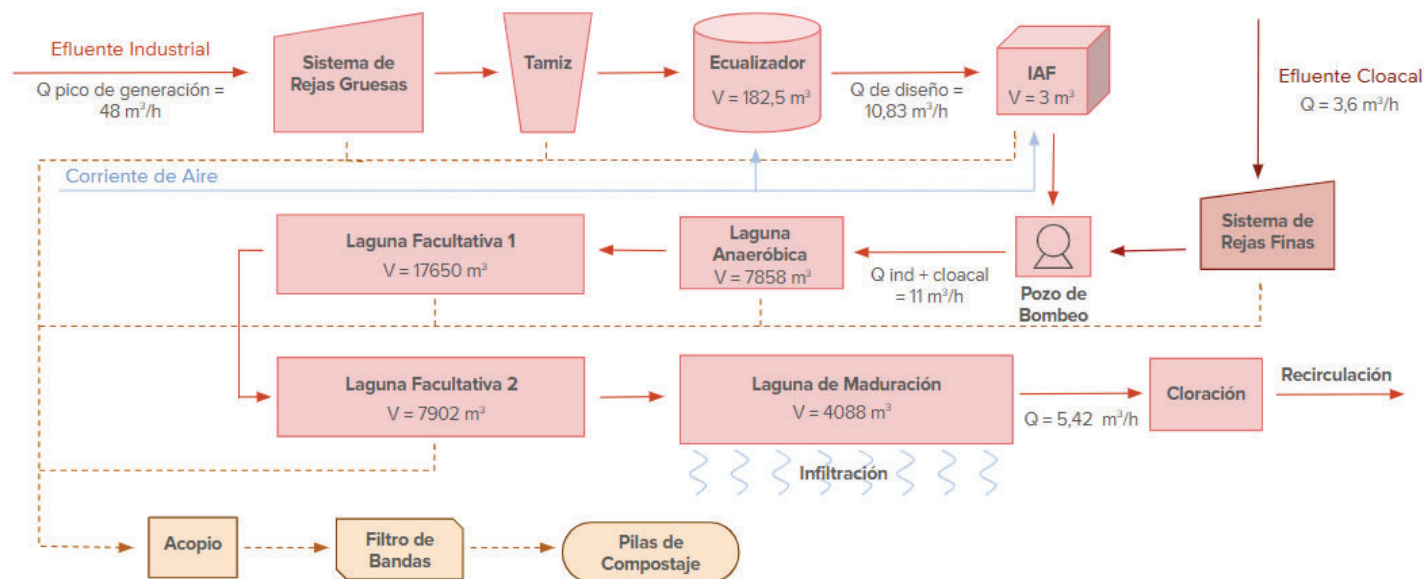


Figura 13. Esquema general de la planta de tratamiento de la Alternativa 1. Fuente: Elaboración propia.

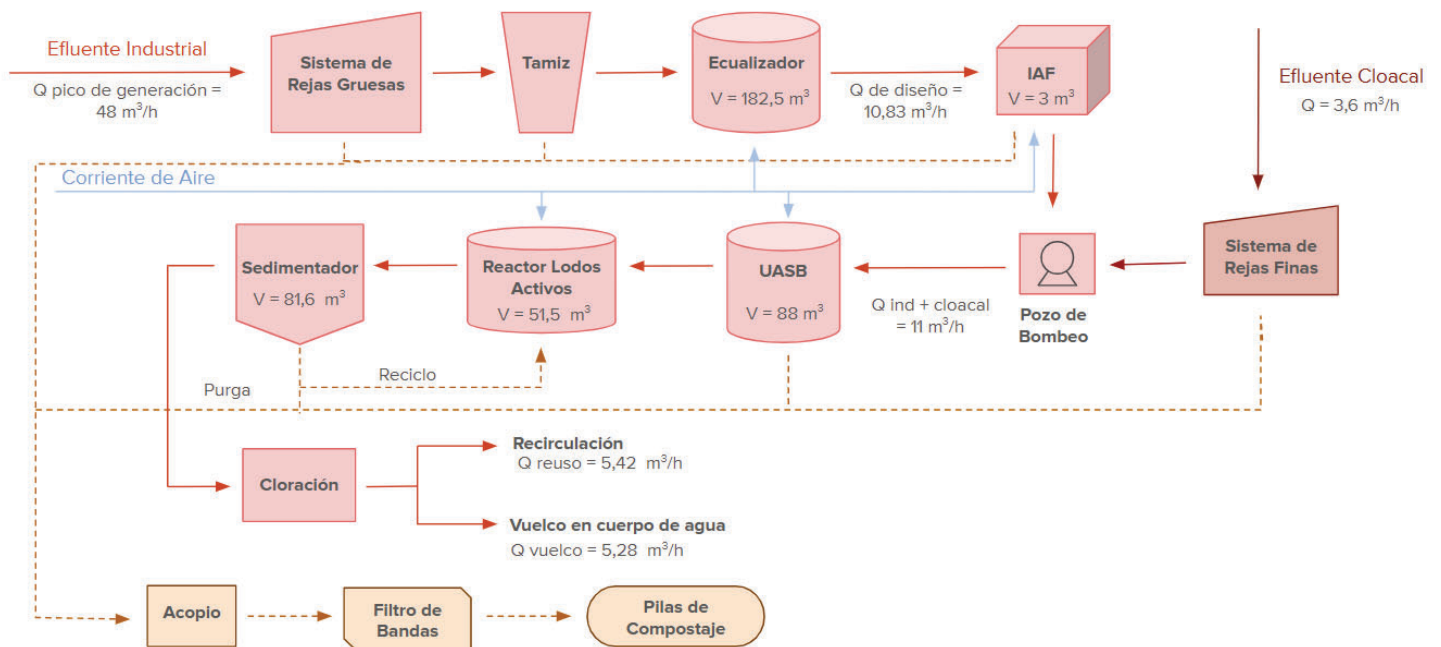


Figura 14. Esquema general de la planta de tratamiento de la Alternativa 2. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: Memoria de cálculo

En esta sección se dimensionan las unidades descritas en el capítulo anterior del pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario, como también el tratamiento de lodos. Se dimensionan ambas alternativas con el fin de evaluar cuantitativamente cuál es la más adecuada. Asimismo, también se diseñará el sistema de conducción de los efluentes líquidos encargado de interconectar las unidades del tren de tratamiento, los equipos de bombeo, medición y dosificación a instalar.

Como se menciona en el Capítulo II, el caudal industrial considerando un incremento en la producción a 1.300 cabezas vacunas semanales en los próximos años es de 26 m³/h. Sin embargo, el diseño de todos los equipos previos al ecualizador (en este caso rejas y tamices) deben diseñarse considerando el caudal máximo que alcance el matadero en el día, a modo de asegurarse que el sistema funcione para todos los casos, el cual es de 48 m³/h. Por otro lado, el caudal cloacal es de 3,6 m³/día. Ambos caudales corresponden a una jornada laboral de 10 horas diarias, todos los días de la semana.

Cabe resaltar también que los límites para los parámetros mencionados en las siguientes secciones fueron obtenidos principalmente a partir del libro de Metcalf & Eddy, 2003.

IV.I Pretratamiento

IV.I.I Rejas

Se contará con dos sistemas de rejas, uno para el efluente industrial (rejas gruesas), y otro para el cloacal (rejas finas) que se unirá más adelante a la línea de tratamiento secundario. Para ambos casos, se contará con rejas circulares de limpieza manual dado que se trata de caudales relativamente pequeños, y ambas contarán con una placa perforada en la parte superior para reposar temporalmente los residuos rastrillados.

Para diseñar las rejas, es necesario determinar la altura de pérdida de carga (h_L), mediante la siguiente ecuación (Ec. 1):

$$h_L = \beta \left(\frac{W}{b} \right)^{4/3} h_v \text{sen}(\theta) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

- β = Factor de forma de la barra, el cual tomará un valor de 1,79 por tratarse de barras circulares.
- W = Anchura máxima transversal de las barras en dirección de la corriente (m), para el cual se adopta un valor de 0,01 m dado que el rango para rejas manuales está entre 0,005 y 0,015 m.
- b = Separación mínima entre barras (m), la cual será de 0,035 m, encontrándose dentro del rango correspondiente a rejas manuales de entre 0,035 y 0,05 m.
- h_v = Altura cinética del flujo que se aproxima a la reja (m), la cual debe ser calculada utilizando la Ecuación 2 y debe ser mayor a 0,1 metros.
- θ = Ángulo/Inclinación de la reja respecto a la horizontal (°). Para las rejas manuales, la inclinación respecto a la vertical debe estar entre 30° y 45°, por lo que adoptando un ángulo de 45° respecto a la vertical, la inclinación con respecto a la horizontal también será de 45°.

Como se mencionó anteriormente, el h_v debe ser calculado utilizando la Ecuación 2, para lo cual será necesario antes calcular el valor de A_p mediante la ecuación 3.

$$h_v = \frac{A_p}{A_c} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A_p = \frac{Q}{v_a} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

- A_p = Área de paso (m²)
- A_c = Ancho del canal (m), para el cual se asume el ancho mínimo de 0,3 m.
- Q = Caudal de generación (m³/s), para el cual se tiene en cuenta el valor pico de 48 m³/h, y por ende 0,013 m³/s en el caso del efluente industrial, y de 0,000125 m³/s para el efluente cloacal.
- v_a = Velocidad de acercamiento (m/s). Para esta, se adopta un valor de 0,4 m/s en el efluente industrial dado que debe estar entre los 0,3 y 0,6 m/s para el caso de las rejas manuales. Sin embargo, debido al bajísimo caudal del efluente cloacal, la velocidad de acercamiento tomará un valor mucho menor que el recomendado con el fin de obtener un valor h_v acorde. El valor adoptado en el caso del cloacal es de 0,003 m/s, y esta baja velocidad de acercamiento a la reja puede significar una mayor deposición de residuos previo a las rejas, por lo cual se requiere una limpieza continua aguas arriba de estas.

Una vez calculada el área de paso, y luego la altura cinética h_v , se pasa a calcular la pérdida de carga h_L , el cual alcanza un valor de 0,03 metros, como se detalla en la Tabla 5. Este valor se encuentra dentro del con el rango de pérdida de carga permisible, el cual debe ser como máximo de 0,15 metros, y lo mismo vale para los caudales mínimo y máximo (considerando la variación del 10%).

Sabiendo estos valores, se procede a dimensionar el canal, donde la altura de este está definida como la suma de la pérdida de carga con la altura cinética del flujo, y con una cota de seguridad de 0,5 metros. Esto se encuentra explicitado en la Ecuación 4.

$$H_c = h_v + 0,5 \text{ m} \quad \textbf{Ecuación 4}$$

Con la altura del canal y considerando el ángulo de inclinación de la reja propuesto (45°), se puede obtener el valor del largo de las rejas (L_R) y el largo proyectado de la reja inclinada (L_p) por trigonometría, los cuales se detallan en la Tabla 5.

Además, para el diseño de las rejas también es necesario estimar la cantidad de barras que las conforman (N_b) y la cantidad de espacios (N_e). Para esto, se utilizan las ecuaciones 5 y 6 a continuación:

$$N_b = \frac{A_c - b}{W + b} \quad \textbf{Ecuación 5}$$

$$N_e = \frac{A_c + W}{W + b} \quad \textbf{Ecuación 6}$$

Una vez establecidos estos valores, se procede a verificar el valor adoptado para el ancho del canal y la velocidad de acercamiento a partir de las ecuaciones 7 y 8:

$$A_c (\text{Verificación}) = w * N_b + b * N_e \quad \textbf{Ecuación 7}$$

$$v_a (\text{Verificación}) = \frac{Q}{A_c * h_v} \quad \textbf{Ecuación 8}$$

Para ambos casos, se corroboró que hay una variación menor del 1%, y por ende los valores adoptados son acordes.

En cuanto al largo del canal (L_c), se puede estimar sumando el largo proyectado de la reja (L_p), el largo del canasto (el cual se asume de 0,5m), y 10 veces de la distancia de acercamiento. Ésta última está definida como la sumatoria entre la altura cinética del fluido (h_v) y la pérdida de

carga. Para asegurarse el mejor funcionamiento, se puede considerar una pérdida de carga del doble del valor original, ya que este considera el caso en el que las rejas están limpias. Todos estos valores también se expresan en la Tabla 5.

Dado el bajo caudal y la simplicidad del sistema, no se justifica instalar un sistema redundante de rejas. En caso de obstrucción o mantenimiento, se contempla la posibilidad de una breve interrupción del sistema sin impacto significativo.

Para dimensionar las rejas cloacales, se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente, pero utilizando el caudal del cloacal, el cual es de $0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$ y una velocidad de acercamiento de $0,003 \text{ m/s}$. Además, la separación mínima entre las barras será menor, dado que se trata de rejas finas, y por ende la pérdida de carga también será distinta. La siguiente tabla muestra los parámetros de diseño, valores adoptados, y las dimensiones finales del sistema de rejas para el pretratamiento del efluente industrial y el cloacal.

Tabla 5. Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para el sistema de rejas del efluente industrial y el cloacal.

Parámetro	Unidad	Industrial	Cloacal
Caudal	m^3/s	0,013	0,0001
Velocidad de acercamiento (v_a)	m/s	0,40	0,003
Área Paso	m^2	0,03	
Ancho Canal (A_c)	m	0,30	
Altura cinética (h_v)	m	0,11	
Factor de forma (beta)	-	1,79	
Ancho barras (W)	m	0,01	
Separación mínima (b)	m	0,035	0,010
Ángulo respecto horizontal	$^\circ$	45	
Pérdida de carga (h_L)	m	0,03	0,14
Diseño canal			
Altura Canal (H_c)	m	0,61	
Ancho Canal (A_c)	m	0,30	
Largo Proyectado de rejas (L_p)	m	0,61	
Largo de las rejas (L_r)	m	0,86	
Largo del Canal (L_c)	m	1,6	2,8
Número de barras (N_b)	Barras	6	15
Número de espacios (N_e)	Espacios	7	16

Como se mencionó en la sección anterior, las rejas gruesas y finas pueden llegar a eliminar entre un 5 y un 25 % de sólidos en suspensión (Ramalho, 2003). Para el diseño, se

asumirá el peor caso, con una reducción de los SST del 5% tanto para el efluente industrial como el cloacal. Con lo cual, el primero llegará a un valor de 2375 mg/L SST, y el segundo a uno de 237,5 mg/L luego de pasar por las rejillas.

IV.I.II Tamiz

Se colocará un tamiz para la línea del efluente industrial, pero no para el cloacal. Como se mencionó anteriormente, en este caso se utilizará un tamiz estático, dado que se considera el más adecuado para la industria en cuestión en términos prácticos y económicos.

Para la elección del tamiz, es necesario conocer dos parámetros: el tamaño máximo de partícula que pasa a través del tamiz, y el caudal que debe soportar. En el caso de la industria frigorífica, se recomienda una apertura de paso de tamiz inferior o igual a 1 mm (López Navajas, 2015). En cuanto al caudal, dado que estos equipos se diseñan sobre agua limpia, se considera como medida de seguridad que el tamiz sea capaz de soportar el doble de agua de caudal punta. Siendo el caudal máximo 48 m³/h, se considera entonces un modelo que se adecua a 96 m³/h de caudal.

Con estos datos, se puede elegir el modelo de tamiz estático tomando como referencia el catálogo del fabricante GEDAR (Anexo 2, Figura 1). Estimando una luz de paso de malla de 0,75 mm, y un caudal de 96 m³/h, el modelo seleccionado es GTE 1200.

La eficiencia de remoción de esta unidad alcanza valores de alrededor del 20% para la DBO y 30% para los SST (Metcalf, 2003).

IV.I.III Ecualizador

Habiendo pasado por las rejillas y el tamiz, el efluente debe pasar por una cámara de ecualización de manera que ingrese al sistema de tratamiento primario y secundario con un caudal y composición constante. El primer parámetro de diseño del ecualizador a calcular es el volumen, para el cual es necesario conocer la diferencia entre el volumen acumulado dentro del ecualizador y el volumen acumulado a la salida del ecualizador para cada período de tiempo (ΔV). Una vez conocida esta diferencia ΔV , el volumen del ecualizador se puede conocer mediante la Ecuación 11, descrita más adelante.

Primero, entonces, se debe calcular el volumen acumulado dentro y a la salida del ecualizador. Para esto, se debe tener en cuenta el caudal horario diario en un día de operación. La Tabla 1 del Anexo 2 muestra estos valores de variación horaria de caudal industrial generado a lo largo de las 24 horas del día, promediado para los 7 días de producción.

Dado que los caudales medios pertenecen a intervalos de tiempo de una hora, el volumen que ingresa al ecualizador en cada período de tiempo toma el mismo valor que el caudal, según la Ecuación 9 (donde Δt es igual a 1), como se muestra en la Tabla 1 del Anexo 2.

$$V_{de\ ingreso\ t_i} = Q_{medio\ por\ c/hora} * \Delta t \quad \textbf{Ecuación 9}$$

Una vez establecidos estos valores, se pueden calcular los volúmenes acumulados en la cámara de ecualización para cada período de tiempo según la Ecuación 10. Los resultados también se pueden observar en la Tabla 1 del Anexo 2.

$$V_{Acumulado\ t_i} = V_{Acumulado\ t_{i-1}} + V_{de\ ingreso\ t_i} \quad \textbf{Ecuación 10}$$

Donde,

- $V_{Acumulado\ t_i}$ = Volumen acumulado dentro del ecualizador en el período de tiempo t_i (m³)
- $V_{Acumulado\ t_{i-1}}$ = Volumen acumulado dentro del ecualizador en el período de tiempo anterior t_{i-1} (m³)
- $V_{de\ ingreso\ t_i}$ = Volumen que ingresa al ecualizador en el período de tiempo t_i (m³)

Resta, por ende, calcular los volúmenes acumulados a la salida del ecualizador para cada período de tiempo. Para esto, se debe saber el volumen de salida para cada período, el cual será es mismo a toda hora dado que se busca un caudal de salida constante los siete días de la semana. Como se mencionó en la sección II.III.IV.ii donde se describe el efluente industrial, el caudal semanal de generación es de 1819,35 m³/semana. Este valor se debe dividir por los 7 días de la semana con el objetivo de obtener el caudal constante que saldrá del ecualizador durante toda la semana, obteniendo un valor de 259,9 m³/día, y 10,83 m³/h, considerando las 24 horas del día. El volumen de salida del ecualizador para cada período de tiempo también toma el mismo valor que el caudal, aplicando la ecuación 9, y por ende es de 10,83 m³. Todos estos valores de también se pueden observar en la Tabla 1 del Anexo 2.

Sabiendo estos valores, se calculó el volumen acumulado de salida del ecualizador utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{Acumulado\ salida\ t_i} = V_{Acumulado\ salida\ t_{i-1}} + V_{de\ salida\ t_i} \quad \textbf{Ecuación 10}$$

Donde,

- $V_{Acumulado\ salida\ t_i}$ = Volumen acumulado a la salida del ecualizador en el período de tiempo t_i (m^3)
- $V_{Acumulado\ t_{i-1}}$ = Volumen acumulado a la salida del ecualizador en el período de tiempo anterior t_{i-1} (m^3)
- $V_{de\ salida\ t_i}$ = Volumen que sale del ecualizador en el período de tiempo t_i (m^3), el cual será el mismo para todas las horas (10,83 m^3)

Utilizando los valores del volumen acumulado dentro y a la salida de la cámara de ecualización para cada período de tiempo se grafica la Figura 15, donde el volumen acumulado dentro del ecualizador para cada período, marcado en azul, muestra una desviación negativa y luego positiva con respecto al volumen acumulado de salida para cada período de tiempo. Esto tiene sentido y se corresponde con el hecho de que la planta no opera las 24 horas del día y por ende al comienzo de la jornada el ecualizador tendrá un volumen acumulado menor que al de salida, pero al transcurrir el día se hará mayor hasta superarlo.

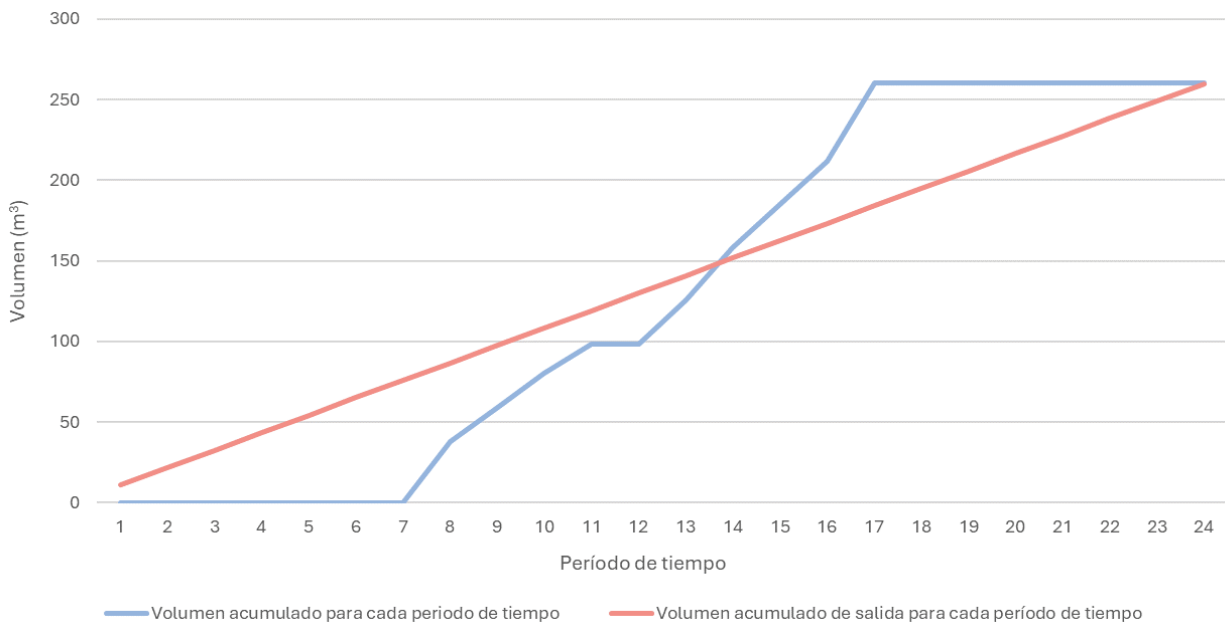


Figura 15. Gráfico del volumen acumulado en el ecualizador para cada período de tiempo (marcado en azul), y el volumen acumulado que egresa del ecualizador para cada período de tiempo a lo largo de una jornada laboral (marcado en rojo)

Estas desviaciones del volumen acumulado de salida son las que se utilizan para calcular el volumen útil del ecualizador, al cual se le agrega un 10% de margen de seguridad (Ecuación 11).

$$V_{Ecualizador} = (|\Delta V1| + |\Delta V2|) * 1,1 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

- $\Delta V1$ = Desviación máxima negativa con respecto al volumen acumulado a la salida, la cual es de $-75,81 \text{ m}^3$ (Tabla 1, Anexo 2)
- $\Delta V2$ = Desviación máxima positiva con respecto al volumen acumulado a la salida, la cual es de $75,90 \text{ m}^3$ (Tabla 1, Anexo 2)

El volumen útil del ecualizador resulta entonces de 182 m^3 . Sin embargo, debe considerarse el sistema de aireación a utilizar primero, de manera de asegurarse que este volumen sea el suficiente para que el diseño sea el correcto.

El sistema de aireación en este caso no tiene el propósito de aumentar la concentración de oxígeno, sino más bien mezclar el efluente para que este tenga una composición homogénea en todo el volumen del ecualizador. Como se mencionó en la Memoria Descriptiva, en este caso el sistema de aireación consta de difusores de grilla movable y de burbuja gruesa. El modelo a utilizar es el CB-300 del proveedor Repicky (Figura 2, Anexo 2). Para calcular la cantidad de difusores que se requiere colocar, se debe calcular el caudal de aire a insuflar según la siguiente ecuación:

$$Q_{Aire} = R_{Aire} * V_{Ecualizador} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

- R_{Aire} = Requerimiento de aire, para el cual se adopta un valor de $0,015 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{min}$, ya que según el Metcalf debe estar entre $0,01$ y $0,015 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{min}$
- $V_{Ecualizador}$ = Volumen del ecualizador obtenido, el cual es igual a 182 m^3

Una vez estimado el caudal de aire, se procede a calcular el número de difusores necesarios dividiendo el caudal de aire por el caudal de diseño, el cual es de está especificado en el catálogo de Repicky (Figura 2, Anexo 2). Esto se expresa en la ecuación 13 a continuación.

$$N^{\circ} \text{ Difusores} = \frac{Q_{Aire}}{Q_{Diseño}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Redondeando para arriba, se concluye que es necesario instalar 17 difusores de burbuja gruesa. Considerando que el fabricante recomienda una densidad de difusores de entre 0,5 a 3 difusores por metro cuadrado, y considerando que se trata de un ecualizador cilíndrico, se estimaron las dimensiones de altura y diámetro asegurándose de caer dentro de ese rango de densidad, y a la vez obtener un volumen de 182 m³ o más.

Por último, se decidió el soplador a utilizar observando el caudal de aire necesario, y la diferencia de presión dada por la pérdida de carga de cada difusor y el número de difusores instalados. Utilizando también un catálogo de Repicky, se decidió por el modelo R200, trabajando a 4500 rpm (Figura 3, Anexo 2). Si bien este soplador satisface por sí mismo las necesidades de aireación requeridas, se instalarán dos iguales para evitar la necesidad de parar la planta frente a un imprevisto. Los valores adoptados y obtenidos tanto para el soplador, como para los difusores y las dimensiones finales del tanque ecualizador se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. *Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para el ecualizador (a la izquierda), y parámetros de diseño para los difusores y sopladores (a la derecha).*

Parámetros de Diseño del Ecualizador			Difusores de Burbuja Gruesa Repicky CB-300		
Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Valor
Caudal pico de entrada	m ³ /h	48	Requerimiento de aire	m ³ aire/m ³ .min	0,015
Caudal semanal de entrada	m ³ /semana	1819,35	Caudal de aire	m ³ aire/h	163,84
Jornada laboral	horas	10	Caudal de diseño	m ³ aire/h	10
Días laborables	días	7	Número de difusores	Difusores	17
Caudal de salida	m ³ /h	10,83	Densidad de difusores	difusores/m ²	0,51
Dimensiones del Ecualizador Cilíndrico			Soplador Repicky R200 - 4500 RPM		
Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Valor
Volumen mínimo	m ³	182,05	Pérdida de carga difusor	mbar	40
Volumen final	m ³	182,51	Diferencia de presión	mbar	700
Altura	m	5,50	Caudal de aire soplador	m ³ aire/h	204
Diámetro	m	6,50	Potencia	HP	7,9
Superficie	m ²	33,18	Nº de sopladores	Sopladores	2

IV.II Tratamiento Primario

IV.II.I Sistema de Flotación por Aire Inducido

A esta unidad ingresa el efluente luego de pasar por el sistema de ecualización, y por ende lo hace a un caudal constante de 10,83 m³/h. Las concentraciones de DBO y SST serán las mismas que a la salida del tamiz (2400 mg/L y 1662,5 mg/L respectivamente), y la de S.S.E.E. es de 450 mg/L. El proceso de flotación por aire inducido se caracteriza por bajos tiempos de retención (menores a 15 minutos), alta turbulencia, y alta demanda de aire, cuyo caudal es 4 veces mayor que el caudal del efluente líquido (Hidalgo Ruiz, 2015).

Uno de los parámetros de diseño de los que depende la eficiencia del sistema IAF es la relación de aire a sólidos (A/S), la cual se puede obtener a partir de la Ecuación 14, y debe tener un valor de entre 0,02 y 0,08 (Eckenfelder, 2000). Si se utiliza menor cantidad de aire que la óptima, la eficiencia de la remoción de sólidos, aceites y grasas será reducida. Por otro lado, si mucho aire es utilizado, se desperdicia energía al comprimir aire en exceso (Hidalgo Ruiz, 2015).

$$\frac{A}{S} = \frac{Q_a * \rho_a}{Q * ([SST] + [SSEE])} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde,

- Q_a = Caudal de aire en m³/h que, como se mencionó anteriormente, se adopta un valor 4 veces mayor que el caudal del efluente.
- ρ_a = Densidad del aire a 20°C, la cual es de 1,204 kg/m³
- Q = Caudal del efluente, el cual es de 10,83 m³/h
- $[SST]$ = Concentración de Sólidos Suspendidos Totales a la entrada del IAF, la cual es de 1662,5 mg/L
- $[SSEE]$ = Concentración de Aceites y Grasas a la entrada del IAF, la cual es de 450 mg/L

Con estos valores, el A/S obtenido es de 2,3. Este se encuentra fuera del rango establecido y por ende se considera que el sistema tendrá una buena eficiencia, pero sin embargo consumirá más energía que la necesaria para la aireación.

Habiendo establecido esto, se procede a diseñar el sistema. Primero se asume un tiempo de residencia de 15 minutos y se utiliza la Ecuación 15 para obtener el volumen del sistema IAF. Además, se asume una carga hidráulica de 0,06 m/min (donde el rango óptimo está entre 0,008 y 0,16 m/min), y se utiliza la Ecuación 16 para obtener el área superficial del sistema.

$$V_{IAF} = Q * t_{residencia} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$A_{sup} = \frac{Q}{C_h} \quad \text{Ecuación 16}$$

Con estos valores, se obtiene un volumen de 3 m³ y un área superficial de 3 m. Teniendo esto en cuenta y asumiendo una simetría rectangular para optimizar el espacio, se estiman las dimensiones finales del tanque de flotación, las cuales se describen en la Tabla 7. A la altura operativa obtenida, se le agrega una altura libre de 0,3 metros para evitar desbordes, permitir la instalación del barredor de grasas y por seguridad operativa.

Tabla 7. Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para el sistema de flotación IAF.

Parámetros de Diseño		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal del Efluente (Q)	m ³ /h	10,83
Caudal de Aire (Q _a)	m ³ /h	43,32
Densidad del aire a 20°C	kg/m ³	1,204
SST	mg/L	1662,5
SSEE	mg/L	450
A/S	-	2,28
Tiempo de residencia (t)	min	15
Carga Hidráulica (Ch)	m ³ /m ² .min	0,06
Dimensiones de Sistema IAF		
Parámetro	Unidad	Valor
Volumen	m ³	3
Área superficial	m ²	3
Altura Operativa	m	1
Altura Total	m	1,3
Largo	m	3
Ancho	m	1

En segundo lugar se dimensiona el sistema de aireación, para el cual se utilizarán difusores de burbuja fina del proveedor Repicky, modelo RG-300 (Figura 4, Anexo 2), de grilla movable. El número de difusores a utilizar se calculó realizando el cociente entre el caudal de aire necesario y el caudal de diseño del difusor, y una vez obtenido ese valor se verificó que la densidad de difusores esté dentro del rango sugerido por el proveedor en la ficha técnica del producto, detallado en la Figura 4 del Anexo 2.

Además, considerando la pérdida de carga del producto y la diferencia de presión, se seleccionó el soplador a utilizar, el cual es el modelo R100, que entrega un caudal de 57,9 m³/h bajo una diferencia de presión de 400 mbar, trabajando a 2900 rpm (Figura 3, Anexo 2). Se

instalarán dos unidades con el fin de contar con una de reemplazo en caso de averías. Los valores de diseño de los difusores y soplador se pueden observar en la Tabla 8.

Tabla 8. *Parámetros para la selección de los difusores y sopladores a utilizar en el sistema IAF.*

Difusores de burbuja fina Repicky RG-300		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de diseño	m ³ aire/h	5,37
N° de difusores	Difusores	8
Densidad de difusores	Difusores/m ²	2,68
Soplador R100 - 2900 RPM		
Parámetro	Unidad	Valor
Pérdida de carga por difusor	mbar	40
Diferencia de presión	mbar	400
Caudal de aire del soplador	m ³ aire/h	57,9
Potencia	HP	1,6
Número de sopladores	Sopladores	2

Por último, también se instalará en la superficie del tanque un mecanismo de barrido de las grasas y aceites que flotan hacia la superficie, el cual se fabrica a medida. Está compuesto por dos cadenas, poleas y barredores que funcionan eléctricamente y desplazan las grasas y sólidos suspendidos hacia un tanque lateral que los acumula en un contenedor.

Considerando los valores de remoción del sistema IAF mencionados en el capítulo III, ocurrirá una remoción importante de grasas, aceites, y sólidos suspendidos totales, y de DBO y DQO en menores proporciones. Además, en el caso de la Alternativa 2, también se removerá un alto porcentaje de nitrógeno y fósforo. Los valores de salida finales del efluente, luego de pasar por el pretratamiento y el tratamiento primario, se describen en la Tabla 9 más adelante.

IV.II.II Pozo de Bombeo

Como se mencionó en la sección anterior, se coloca el pozo de bombeo con el fin de ingresar en este paso el efluente cloacal, el cual tiene un caudal medio de 3,6 m³/día, por lo que es casi despreciable respecto a los 260 m³/día provenientes del equalizador. Para calcular el volumen, se multiplica el caudal total horario que recibe (del efluente cloacal y el industrial) por el tiempo de retención, el cual se considera de aproximadamente 15 minutos. De esta manera, se obtiene un volumen de 2,8 m³. La geometría será rectangular, pero a la base inferior se le otorga una pendiente del 40% con el objetivo de que el caño de succión de la bomba siempre esté sumergido en el efluente, evitando averías.

En la Tabla 9 se describe la caracterización del efluente luego de pasar por el pretratamiento y tratamiento primario, como también luego de que se adicione el efluente cloacal en el pozo de bombeo. Como se puede observar, si bien muchos de los parámetros disminuyeron sus concentraciones, sólo el pH y las grasas y aceites se encuentran por debajo del límite legal (marcados en verde). Es por esta razón que es necesario continuar con el tratamiento del efluente. Este ingresará al sistema secundario con las mismas características con las que sale del pozo de bombeo.

Tabla 9. Caracterización del efluente al egresar del pretratamiento y tratamiento primario, como también luego de la adición del efluente cloacal en el pozo de bombeo, y su comparación con el límite legal.

Parámetro	Unidad	Valor Salida Sistema IAF	Valor Salida Pozo de Bombeo	Límite legal
Caudal	m ³ /h	10,83	11	-
pH	u pH	6,8	6,8	6,5 - 10
DQO	mg/L	3200	3216,4	≤ 250
DBO5	mg/L	1920	1926,5	≤ 50
SST	mg/L	498,8	506,9	≤ 35
SSEE	mg/L	45	45	≤ 50
N total Alt 1	mg/L	350	350	≤ 35
P total Alt 1	mg/L	50	50	≤ 1
N total Alt 2	mg/L	105	105	≤ 35
P total Alt 2	mg/L	10	10	≤ 1

IV.III Tratamiento Secundario

IV.III.I Alternativa 1

IV.III.I.i Laguna Anaeróbica

Dado que el primer paso dentro del tren de tratamiento secundario es un proceso anaeróbico, se debe comprobar que la relación Carbono:Nitrógeno:Fósforo del efluente previo al ingreso a la laguna anaeróbica sea de 350:7:1, de manera que los microorganismos puedan crecer y desarrollarse eficientemente. Esta relación se cumple, con un exceso de nitrógeno y fósforo para los microorganismos, por lo que no es necesario añadir estos nutrientes en la laguna.

El diseño de la laguna anaeróbica se puede realizar tanto por el modelo empírico de Carga Orgánica Volumétrica, como por el Modelo de Vincent. Este último se aplica cuando se considera una mezcla completa y una temperatura del efluente es de 20°C (en las peores condiciones). Dado que en este caso la temperatura del efluente en invierno puede llegar a temperaturas más bajas (alrededor de 10°C), se utiliza el modelo de COV, para el cual se comienza por calcular la carga orgánica volumétrica mediante la Ecuación 17.

$$COV = 16,5 * Ti - 100 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde T_i es la temperatura media registrada en los meses de invierno, la cual es de 10°C. Una vez calculado el COV, se procede a calcular el volumen mínimo de la laguna mediante el cociente de la carga orgánica (expresada por el caudal de entrada y la concentración de DBO de entrada), y la carga orgánica volumétrica. Esto se expresa en la Ecuación 18.

$$V = \frac{Q * DBO}{COV} \quad \text{Ecuación 18}$$

Una vez establecido este valor, detallado en la Tabla 10, se procede a diseñar la laguna teniendo en cuenta las dimensiones de la que actualmente está presente en el establecimiento. Esta se redimensionará, intentando cumplir en parte con las dimensiones originales propuestas para abaratar costos (Figura 16).

Además, la forma de la laguna no será octaédrica, sino que tendrá una forma tronco piramidal con el fin de que tenga una mayor estabilidad y que se fomente la sedimentación de los SST. Las dimensiones adoptadas y calculadas se detallan en la Tabla 10. No estará completamente enterrada, sino que será semienterrada para minimizar costos de producción y evitar posibles inundaciones o estar muy cerca de la napa freática.

La laguna estará también cubierta con una membrana para evitar el escape de gases, los cuales se transportarán hacia un antorcha para quemarlos y que se liberen como dióxido de carbono.

Tabla 10. Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para la laguna anaeróbica.

Parámetros de Diseño		
Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura invierno (T_i)	°C	10
Carga Orgánica Volumétrica (COV)	g/m ³ dia	65
Caudal de entrada (Q)	m ³ /dia	263,6
DBO de entrada	g/m ³	1926,5

Volumen mínimo (V)	m ³	7813
Dimensiones de la Laguna Anaeróbica		
Parámetro	Unidad	Valor
Altura laguna	m	4
Ancho superior	m	33
Largo superior	m	75
Inclinación talud	°	45
Ancho inferior	m	25
Largo inferior	m	67
Área superior	m ²	2475
Área inferior	m ²	1675
Volumen laguna	m ³	8248
Tiempo de retención	días	30

En cuanto a las eficiencias de remoción, esta depende de las temperaturas que se alcanzan en los meses más fríos. Para este caso donde la temperatura alcanza los 10°C como mínimo y se utiliza el modelo COV, la eficiencia de remoción de DBO y DQO es del 50% y 40% respectivamente (Bailat, 2021). La remoción de sólidos suspendidos totales alcanza valores de remoción del 70% (Carvajal Muñoz, 2016), y la remoción de nitrógeno y fósforo está dada por la relación C/N/P de 350/7/1 como es el caso para la cinética de crecimiento anaeróbica de los microorganismos, con la cual se logra una remoción del 3,3% tanto para el N como para el P.

La Figura 16 al final de la sección demuestra en recuadrada en blanco las dimensiones y ubicación de la laguna anaeróbica luego de su refacción.

IV.III.II.ii Lagunas Facultativas

Para comenzar a diseñar, primero se verificó que las concentraciones de fósforo y nitrógeno previo al ingreso a las lagunas facultativas cumplan con el requerimiento C:N:P tanto para la cinética de crecimiento anaeróbica (350:7:1), como para la aeróbica (100:5:1), comprobando que hay suficiente nitrógeno y fósforo para satisfacer ambas necesidades, y por ende no se requiere agregar más nutrientes para el desarrollo de los microorganismos.

Para dimensionar las lagunas facultativas existen tres modelos empíricos de carga superficial principales: el Modelo de McGarry y Pescod, el Modelo Yañez, y el Modelo Cubillos. En este caso, se utilizará el segundo modelo, para el cual se comienza por calcular la Carga Orgánica Superficial Máxima mediante la siguiente ecuación:

$$CSM = 375 * (1,085)^{T-20} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde,

- CSM = Carga Orgánica Superficial Máxima (kgDBO/ha.día)
- T = Temperatura del efluente en el mes más frío (°C), la cual se calcula a partir de la temperatura ambiental del mes más frío (Ta, la cual es de 10°C), y según la Ecuación 20.

$$T = 8,59 + 0,82 * Ta \quad \text{Ecuación 20}$$

Una vez establecido el valor del CSM, se procede a calcular el área a partir de la Ecuación 21, donde la concentración de DBO inicial representa la concentración de DBO a la entrada de la laguna facultativa.

$$A = \frac{Q*[DBO]_0}{CSM} \quad \text{Ecuación 21}$$

Sabiendo el área superficial que debe tener la laguna, y tomando el ancho que tiene la segunda laguna actual para realizar el mínimo movimiento de tierra posible, se calculó también el largo de la laguna, comprobando que este sea entre dos y tres veces el valor del ancho. Estos valores se pueden observar en la Tabla 11.

Además, el modelo calcula la eficiencia de la lagunas (E) según las siguientes ecuaciones:

$$E = \frac{CSR}{CSM} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$CSR_1 = 7,67 + 0,8063 * CSA \quad \text{Ecuación 23}$$

$$CSR_2 = -0,8 + 0,765 * CSA \quad \text{Ecuación 24}$$

- CSA = Carga Orgánica Superficial Aplicada. En las peores condiciones, este valor toma el mismo valor que la carga máxima, y por ende para el diseño CSA=CSM.
- CSR₁ = Carga Orgánica Superficial Removida de la primera laguna, para la cual el valor de CSA debe estar entre 200 y 1158 kgDBO/ha.día
- CSR₂ = Carga Orgánica Superficial Removida de la segunda laguna, para la cual el valor de CSA debe estar entre 40 y 210 kgDBO/ha.día

Realizando estos cálculos, se obtuvo una eficiencia del 83% para la primera laguna. Además, adoptando una altura de 2 metros, se dimensionó la laguna utilizando el mismo procedimiento que para la laguna anaeróbica.

Seguidamente, se realizó el mismo procedimiento para diseñar la segunda laguna facultativa, pero esta vez utilizando la Ecuación 24 para calcular el CSR_2 . Además, se asumió un CSA (y por ende un CSM) de 100 kgDBO/ha.día, de manera que se encuentre dentro del rango establecido para el cálculo del CSR_2 .

Una vez obtenida el área, se decidió en el ancho de la laguna según el ancho de la laguna actual, y de la misma manera que para la primera laguna, se calculó el largo de esta dividiendo el área superior por el ancho superior. En este caso, el largo obtenido es exactamente dos veces el ancho de la laguna. Todos estos valores también se describen en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para ambas lagunas facultativas, siendo la primera laguna facultativa en el tren la denominada Laguna 1, y la segunda la Laguna 2.

Parámetros de Diseño			
Parámetro	Unidad	Laguna 1	Laguna 2
Temperatura ambiental (T_a)	°C	10	10
Temperatura del efluente (T)	°C	16,79	16,79
CSM	kgDBO/ha.día	274,8	100
Caudal (Q)	m ³ /d	264	264
DBO	g/m ³	963	160
CSA	kgDBO/ha.día	274,8	100
CSR	kgDBO/ha.día	229,2	75,7
Eficiencia de remoción	%	83,4	75,7
Dimensiones de las Lagunas Facultativas			
Parámetro	Unidad	Laguna 1	Laguna 2
Área superior	ha	0,93	0,42
Área superior	m ²	9256	4221
Ancho superior	m	58	46
Largo superior	m	160	92
Altura laguna	m	2	2
Inclinación talud	°	45	45
Ancho inferior	m	54	42

Largo inferior	m	156	88
Área inferior	m ²	8401	3686
Volumen laguna	m ³	17650	7902
Tiempo de retención	días	67	30

Como se puede observar a partir de la tabla, la primera laguna facultativa tiene un porcentaje de remoción del DBO igual al 83,4%, y la segunda a 75,7%. Con estos porcentajes, el efluente final alcanza un valor de 38,9 mg/L y por ende cumple con la normativa de vuelco para ese parámetro, como también para la DQO, la cual tiene porcentajes de remoción de 70% y 60% respectivamente para cada laguna facultativa. Además, como se mencionó en la sección anterior, también se reducirán los valores de SST por precipitación, y los de nitrógeno y fósforo debido a la oxigenación y las reacciones químicas favorecidas por las algas, como también al consumo propio de los microorganismos que realizan el tratamiento con una relación C/N/P de 100/5/1.

Finalmente, la Tabla 12 muestra la caracterización del efluente al finalizar el tratamiento secundario de la Alternativa 1, cuando ingresa a la laguna de maduración. Como se resalta en verde, todos los parámetros están por debajo del límite de la resolución para vuelcos en cuerpo de agua superficial, y por ende también están por debajo de los límites para infiltración por suelo, con excepción de la concentración de fósforo total. Este parámetro alcanza un valor de 9,8 mg/L, el cual no se encuentra debajo del límite para vuelco en agua superficial, pero sí lo hace para infiltración por superficie (límite de 10 mg/L). Dado que para esta alternativa el efluente finaliza volcando en la laguna de maduración donde ocurre una infiltración por superficie, se considera que esa concentración de fósforo es apropiada. Además, la laguna de maduración reducirá naturalmente las concentraciones de fósforo, nitrógeno, patógenos, y demás parámetros gracias a los microorganismos, las algas y la sedimentación.

Tabla 12. Caracterización del efluente al egresar de cada una de las lagunas de tratamiento para la Alternativa 1 de tratamiento secundario, y su comparación con el límite legal.

Parámetro	Unidad	Valores salida L. Anaeróbica	Valor salida L. Facultativa 1	Valor salida L. Facultativa 2	Límite legal
Caudal	m ³ /h	11	11	11	-
pH	u pH	6,8	6,8	6,8	6,5 - 10
DQO	mg/L	1930	578,9	231,6	≤ 250
DBO5	mg/L	963	160	38,9	≤ 50
SST	mg/L	152	60,8	24,3	≤ 35
SSEE	mg/L	45	45	45	≤ 50
N total	mg/L	340,1	60,0	10,8	≤ 35

P total	mg/L	48,7	20,3	9,6	$\leq 1 / \leq 10$
----------------	------	------	------	-----	--------------------

El resultado final de esta alternativa consiste en una refacción del sistema de lagunas actual, cuyos nuevos tamaños y disposición espacial se muestra en la Figura 16, donde el recuadro blanco delimita la laguna anaeróbica, los recuadros celestes las lagunas facultativas, y finalmente el recuadro verde la laguna de maduración.



Figura 16. Imagen satelital del sistema de lagunas actual del matadero, con las demarcaciones para las nuevas delimitaciones de éstas en el caso de aplicar la Alternativa 1.

IV.III.II Alternativa 2

IV.III.II.i Reactor anaeróbico con flujo ascendente y manto de lodos (UASB)

Como ya se hizo en el caso del IAF en la Ecuación 15, el volumen del reactor UASB se calculará mediante la multiplicación del caudal de entrada y el tiempo de residencia (o retención hidráulica). El caudal es el mismo que a la salida del ecualizador, dado que se mantiene constante, y el tiempo de residencia puede asumir a partir de la temperatura del efluente. Dado que en este caso esta última es de 20°C, el tiempo de residencia debe ser mayor o igual a 8

horas (Anexo 2, Tabla 2). Asumiendo un tiempo de 8 horas se logra calcular el volumen del reactor, el cual es de 88 m^3 , como se describe en la Tabla 13. Dado que el volumen no es muy grande, se decide por una simetría cilíndrica.

Una vez establecida la geometría del reactor, se procede a estimar sus dimensiones. La altura máxima de los reactores con lodo floculento suele estar entre los 4 y los 5 metros en total, donde una parte estará comprendida por el compartimiento de digestión, ubicado en la parte inferior, y la otra por el compartimiento de sedimentación, en la parte superior. La altura del compartimiento de digestión suele estar entre los 2,5 y los 3,5 metros, y la del del de sedimentación entre los 1,5 y 2 metros. En este caso se asume una altura de digestión de 2 metros, y una de sedimentación de 3 metros, obteniendo por ende una altura final de 5 metros para el reactor UASB. Además, sabiendo su volumen y su altura, se logra calcular el área transversal del reactor y su diámetro (Tabla 13).

Tabla 13. *Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para el reactor UASB.*

Reactor UASB		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal del efluente (Q)	m^3/d	264
Temperatura del efluente (T)	$^{\circ}\text{C}$	20
Tiempo de residencia (t_r)	h	8
Volumen (V)	m^3	88
Altura total	m	5
Altura digestión	m	3
Altura sedimentación	m	2
Área transversal	m^2	17,6
Diámetro	m	4,73

Para el correcto funcionamiento del reactor UASB se deben verificar los siguientes parámetros:

- **Carga Hidráulica Volumétrica (CHV):** este parámetro es la inversa del tiempo de retención, y no debe ser mayor a $5 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$, dado que valores más altos de CHV pueden generar una pérdida excesiva de biomasa en el sistema debido al arrastre del lodo del efluente, o una reducción en el tiempo de residencia celular y su consecuente disminución del grado de estabilización de los lodos. La CHV se puede calcular a partir de la realizando el cociente entre el caudal que ingresa y el volumen del reactor, y el valor final obtenido se demuestra en la Tabla 15.

- **Carga Orgánica Volumétrica (COV):** este parámetro también influencia en gran medida el volumen del reactor, dado que se debe asegurar que este sea de un valor tal que la COV esté por debajo de los 15 kg/m³.d. La aplicación de cargas superiores a estar resultaría en cargas hidráulicas, y consecuentemente velocidades de ascenso, excesivas. La COV se puede calcular a partir de la Ecuación 25, y el valor final obtenido se detalla en la Tabla 15.

$$COV = \frac{Q \cdot DQO}{V} \quad \text{Ecuación 25}$$

- **Velocidad superficial de flujo o velocidad de ascenso:** ésta depende del lodo presente y de las cargas aplicadas. Para reactores operando con lodos floculentos pueden estar entre 0,5 y 1,1 m/h, donde su relación con el tiempo de retención y la altura del reactor está dada por la Figura 5 del Anexo 2. Si se estima el valor de la velocidad de ascenso a partir de esta figura, asumiendo una altura de 5 metros y un tiempo de retención de 8 horas, se obtiene un valor de aproximadamente 0,6 m/h. Este está dentro del rango establecido, pero además se puede verificar realizando el cociente entre el caudal y área transversal del reactor. El valor final obtenido se demuestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Verificación de los parámetro de la CHV, COV, y la velocidad de ascenso según los límites recomendados. Fuente: Cátedra de Diseño de Sistemas de Tratamientos Biológicos 2021, UNSAM.

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Valor recomendado
CHV	1/d	3	< 5
COV	kg/m ³ .d	9,65	< 15
Velocidad de ascenso	m/h	0,63	0,5 - 1,1

Como se puede observar a partir de la tabla anterior, los parámetros están por dentro de los límites establecidos y por ende se garantiza el correcto funcionamiento del reactor UASB.

Sistema de Distribución

Una vez establecidas las dimensiones del reactor, se debe diseñar el sistema de distribución del afluente. Para obtener una eficiencia óptima, el sustrato debe distribuirse uniformemente en la parte inferior de los reactores, de forma de garantizar un contacto correcto entre la biomasa y el sustrato. Esto permite evitar problemas de cortocircuitos o generación de velocidades de sedimentación elevadas.

Para saber el número de caños distribuidores que deben conformar el sistema de distribución, se debe realizar el cociente entre el área del reactor y el área de influencia de cada distribuidor. Esta última depende del tipo de lodo y de la carga orgánica aplicada, y se puede

asumir a partir de la Tabla 3 del Anexo 2. Considerando una concentración de 0,5 kgSST/m³ y una COV de 9,65 kg/m³.d, se obtuvo un área de influencia de 2,5 metros. Sabiendo esto y el área del reactor, se calculó el número de caños a colocar, cuyo valor se observa en la Tabla 15.

Además, dado que las condiciones anaeróbicas conllevan una generación de metano, se debe determinar cuánto de este biogás se producirá para poder diseñar el sistema de captación, el cual consiste en una campana separadora de gases. Para esto, se debe primero conocer las concentraciones de entrada y salida de DQO, y por ende las eficiencias de remoción. Estas se pueden calcular a partir de las ecuaciones a continuación (donde t_r es el tiempo de retención):

$$E_{DQO} = 100 \left(1 - 0,68 * t_r^{-0,35} \right) \quad \text{Ecuación 26}$$

$$E_{DBO} = 100 \left(1 - 0,7 * t_r^{-0,5} \right) \quad \text{Ecuación 27}$$

Con la eficiencia de remoción de DQO se puede establecer la carga de DQO que fue convertida a metano mediante la siguiente ecuación:

$$DQO_{CH_4} = Q(DQO_0 - DQO) - Y_{OBS} * Q * DQO_0 \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde,

- DQO_{CH_4} = Carga de DQO convertida en metano (kg/d)
- DQO_0 = Concentración de DQO de entrada del reactor (mg/L)
- DQO = Concentración de DQO de salida al reactor (mg/L)
- Y_{OBS} = Coeficiente de producción de sólidos en el reactor, el cual varía de 0,11 a 0,23 kgDBO_{lodo}/kgDBO_{apl}, y para el cual se asume un valor de 0,21

Una vez obtenida la carga de DQO convertida a metano, se puede estimar la producción volumétrica de metano (Q_{CH_4}) a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde $f(T)$ es el factor de corrección para la temperatura operacional del reactor, y se puede estimar a partir de la Ecuación 30.

$$f(T) = \frac{P * K_{DQO}}{R * (273 + T)} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde, a su vez,

- P = Presión atmosférica (1 atm)
- K_{DQO} = Gramos de DQO correspondientes a un mol de metano (64 grDQO/mol)
- R = Constante de gases (0,08206 atm.L/mol.K)
- T = Temperatura operacional del reactor (°C), la cual se asume que es la misma que el efluente y por ende 20°C.

Finalmente, una vez obtenida la producción teórica de metano, se puede estimar la producción total de biogás según la siguiente ecuación:

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde,

- Q_{CH_4} = Producción volumétrica de metano (m³/d)
- C_{CH_4} = Concentración de metano en el biogás, la cual usualmente está en el orden de entre el 70% y el 80%

Todos los parámetros utilizados y resultados obtenidos para la estimación del biogás producido en el reactor UASB se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de diseño del sistema distribuidor, eficiencias de remoción, y generación de metano y biogás por el reactor UASB.

Diseño Sistema de Distribución - Biogás		
Parámetro	Unidad	Valor
Área de influencia del distribuidor	m	2,5
Número de caños distribuidores	Caños	7
Eficiencia de remoción DQO (E_{DQO})	%	67,2
Eficiencia de remoción DBO (E_{DBO})	%	75,3
Concentración de DQO de salida (DQO)	mg/L	1056,3
Concentración de DBO de salida (DBO)	mg/L	476,8
Coeficiente de producción de sólidos (Y_{OBS})	kg/kg	0,21
Carga de DQO convertida en CH ₄ (DQO_{CH_4})	kg/d	391,9
Presión Atmosférica (P)	atm	1
Constante K_{DQO}	grDQO/mol	64
Constante de gases (R)	atm.L/mol.K	0,08206
Temperatura reactor (T)	°C	20

Factor de corrección f(T)	kg/m ³	2,66
Producción volumétrica CH ₄ (Q _{CH4})	m ³ /d	147,2
Concentración de CH ₄ en biogás (C _{CH4})	%	70
Producción volumétrica de biogás (Q _{biogás})	m ³ /d	210,4

Colecta de Gas

Para la colecta de gas se utilizan separadores trifásicos, o también denominadas campanas captadoras de gases. Para su diseño, se comienza por calcular el área mínima de captación de gases (la cual es el área inferior) a partir de la Ecuación 32.

$$A_i = \frac{Q_{biogás}}{Kg} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde Kg es la tasa de liberación de biogás, la cual se encuentra en un valor de alrededor de 1 m³_{gas}/m²h, y llega a valores de tasas máximas de entre 3 m³_{gas}/m²h y 5 m³_{gas}/m²h. Una vez estimada esta área mínima, se calcula el área de paso de la zona de sedimentación a la zona de digestión (A_{ab}) utilizando la siguiente ecuación:

$$A_{ab} = \frac{Q}{v_{ab}} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde,

- Q = Caudal del efluente (m³/h)
- v_{ab} = Velocidad de flujo ascendente, la cual para caudales medios debe ser menor a 2 m/h de manera de permitir la sedimentación del lodo.

Sabiendo el valor del área de paso, se puede calcular el área de captación de gases real (A_i'), la cual es la resta entre el área transversal del reactor y el área de paso, y para la cual se obtuvo un valor de 10,3 m². Esto verifica que el área de captación real es mayor que el área mínima de captación (A_i), con lo cual la captación de gases se realizará de forma correcta.

Con estos valores se procede al diseño en detalle de la campana, donde a partir del área de captación se puede obtener el diámetro de la campana y el ancho de la zona de sedimentación. Además, se puede calcular el espesor de los baffles sumándole 0,1 metros al ancho de la zona de sedimentación, de manera de garantizar el mantenimiento de los sólidos en el interior del reactor.

La altura total de la campana será igual a la altura de la zona de sedimentación, la cual a su vez estará compuesta por dos alturas: la altura de la salida de la campana hasta el pelo de agua (H2), la cual debe estar entre 0,3 y 0,5 metros, y la altura de la campana en la pared inclinada (H1). Por otro lado, el ángulo de inclinación de la campana debe ser mayor o igual a 50°. Con estos valores, se lograron estimar todas las dimensiones necesarias para diseñar la campana, las cuales se muestran en la Tabla 16.

Por último, se debe estimar el tiempo de retención de manera de asegurar haya una correcta sedimentación en el reactor, y se calcula según:

$$t_{ret} = \frac{V_{libre}}{Q} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde,

- V_{libre} = Volumen libre entre las paredes entre las paredes del reactor y la campana en la zona de sedimentación. Este volumen es equivalente a la diferencia entre el volumen de la sección de sedimentación y el volumen de la campana.

Tabla 16. Parámetros de diseño de la campana trifásica en el reactor UASB.

Diseño Campana Trifásica		
Parámetro	Unidad	Valor
Tasa de liberación de biogás (Kg)	m ³ gas/m ² h	1,5
Área Mínima (A _i)	m ²	5,84
Velocidad de flujo ascendente (v _{ab})	m/h	1,5
Área de Paso (A _{ab})	m ²	7,33
Área de captación de gases real (A _{i'})	m ²	10,3
Diámetro de campana	m	3,62
Ancho zona sedimentación	m	0,56
Espesor de baffles	m	0,66
Altura salida campana	m	0,3
Altura campana pared inclinada	m	1,7
Ángulo de inclinación	°	50
Ancho sección inclinada de la campana	m	1,43
Diámetro salida superior	m	0,77
Volumen libre	m ³	11,22
Tiempo de retención (t _{ret})	h	1,0

Como se describe en la Tabla 16, los porcentajes de remoción de DBO y DQO hallados son del 75,3% y el 67,2% respectivamente, y la remoción de SST es de alrededor del 70% (Ramirez Gastulo, 2017). En cuanto a la remoción de nitrógeno y fósforo, esta será la correspondiente acorde a la relación C/N/P de 350/7/1. Para el consumo de carbono que se obtuvo con este proceso, los porcentajes de remoción de nitrógeno y fósforo son de alrededor del 8%.

Finalmente, es relevante destacar que a la salida del reactor UASB se recomienda instalar una antorcha para quemar con seguridad el biogás, a manera de minimizar la liberación de metano y de monóxido de carbono. Se recomienda esto en lugar de la utilización del biogás para generar energía porque el biogás producido por este tipo de reactores anaeróbicos suele ser de baja calidad e insuficiente para su aprovechamiento.

IV.III.II.ii Lodos Activos

Diseño del Reactor Biológico

El sistema de lodos activos consiste en un reactor biológico de mezcla completa con aireación, seguido por un tanque sedimentador. Para el diseño del primero, se adopta que la cinética de reacción es de Monod con decaimiento, y se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Que el reactor se encuentra en estado estacionario y por ende las variables no dependen del tiempo.
2. Que el afluente que ingresa al reactor es estéril y por ende la concentración inicial de microorganismos (X_0) es igual a cero.
3. Que el reactor es de mezcla completa y por ende la concentración dentro de éste es igual a la de salida.
4. Que hay una buena sedimentación en el sedimentador, por lo que la concentración de microorganismos de salida (X_s) es igual a cero.
5. Que la concentración de microorganismos en la purga del sedimentador y del reciclo son las mismas ($X_r = X_p$).
6. Que en el sedimentador no se produce degradación de biomasa, por lo que la concentración de sustrato a la salida de éste es igual a la concentración a la salida del reactor biológico (S).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se esbozó un esquema representativo del tratamiento de lodos activos con símbolos indicando los caudales (Q), concentración de sustrato (S), y concentración de biomasa (X) de entrada, de salida, de reciclo y de purga.

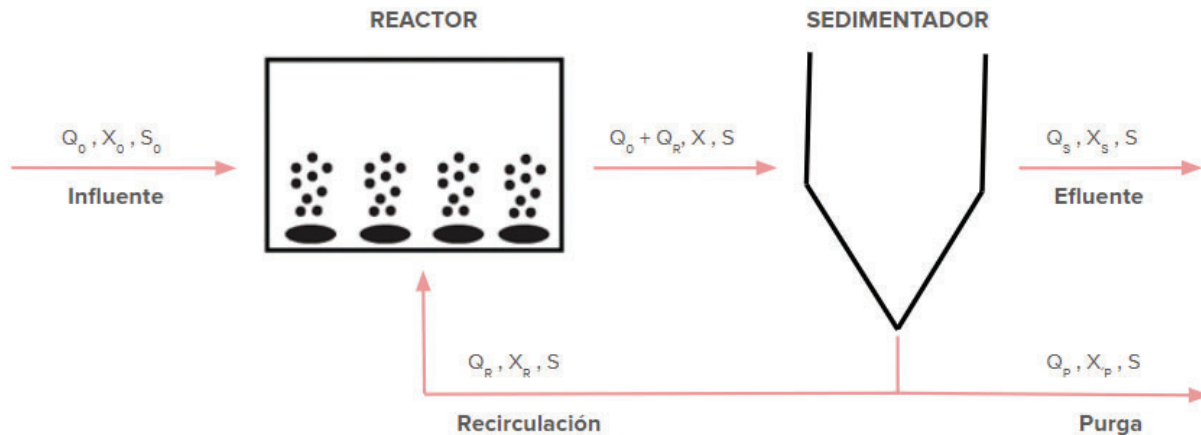


Figura 17. Esquema de flujo en el sistema de lodos activos. Fuente: Elaboración propia

Balance de Biomasa en el Sistema Completo

Se comienza por plantear un balance de biomasa dentro del Volumen de Control 1 (el cual representa al sistema completo). La variación de biomasa en el tiempo en este sistema está dada por la concentración de entrada al sistema, a la que se le resta lo que sale por purga y a la salida del sedimentador, y se le suma el crecimiento de microorganismos dentro del reactor:

$$V \frac{dx}{dt} = Q_0 X_0 - Q_S X_S - Q_P X_P + V r_x \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde,

- $V \cdot dx/dt$ = Volumen del reactor multiplicado por la variación de biomasa en el tiempo. Dado que se asume un estado estacionario, este valor se hace cero (primera consideración).
- Q_0 = Caudal de entrada al reactor (m^3/d)
- X_0 = Concentración de entrada de microorganismos al reactor, la se asume de 0 mg/L (segunda consideración).
- Q_S = Caudal de salida del sistema (m^3/d)
- X_S = Concentración de salida de microorganismos, la cual se asume de 0 mg/L (cuarta consideración).
- Q_P = Caudal de purga del reactor (m^3/d)

- X_p = Concentración de purga de microorganismos (mg/L)
- V = Volumen del reactor (m^3)
- r_x = Tasa neta de crecimiento bacteriano (mg/Ld), para la cual se aplica el modelo cinético de Monod con decaimiento, que contempla la tasa de crecimiento exponencial en función de la energía requerida para el mantenimiento celular, la muerte, y el decaimiento de los microorganismos. Esta tasa neta se describe mediante la Ecuación 36 a continuación.

$$r_x = \mu_{max} * \frac{S * X}{K_s + S} - K_D * X \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde,

- μ_{max} = Tasa máxima de crecimiento específico, la cual es una variable cinética empírica, y por ende se adopta un valor basado en bibliografía de $1,26 \text{ d}^{-1}$.
- S = Concentración de sustrato en el efluente luego de pasar por el reactor (mg/L), la cual será la misma tanto para salida como para la purga y el reciclaje. Asumiendo una eficiencia de alrededor del 90% (Bustillo-Lacompte et al., 2015), y en vista de que la normativa establece una DBO de vuelco menor o igual a 50 mg/L, para el diseño del reactor se asume una DBO de salida de 30 mg/L, de manera de contemplar un amplio margen de error en caso de imprevistos o variaciones en la producción.
- X = Concentración de microorganismos dentro del reactor (mg/L). Según bibliografía, la concentración de microorganismos en el licor mezcla del reactor mezcla completa debe tomar un valor de entre 3000 y 6000 mg/L, por lo que se adopta un valor de 4000 mg/L.
- K_s = Constante de saturación media, la cual también es una variable cinética empírica y toma un valor de 80 mg/L.
- K_D = Coeficiente de descomposición endógena, la cual también es una variable cinética empírica y tiene un valor de 0,06 mg/L.

Con todos estos valores se logra estimar el r_x y por ende el balance de biomasa tiene como incógnitas en caudal de purga, la concentración de biomasa de purga, y el volumen del reactor, y queda expresado por la siguiente ecuación:

$$0 = -Q_p X_p + V r_x \quad \text{Ecuación 37}$$

Con el fin de estimar estos valores para poder diseñar el reactor, se procede a realizar otros balances de masa.

Balance de Sustrato en el Sistema Completo

En este caso, se realiza el balance de sustrato dentro del Volumen de Control 1, donde la variación de sustrato en el tiempo está dada por la concentración de entrada al sistema, a la que se le resta lo que sale por la purga y a la salida del sedimentador, como también lo que se consume de sustrato dentro del reactor. Esto está expresado en la Ecuación 38.

$$V \frac{dS}{dt} = Q_0 S_0 - Q_S S - Q_P S - V r_s \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde,

- $V \cdot dS/dt$ = Volumen del reactor multiplicado por la variación de sustrato en el tiempo. Dado que se asume un estado estacionario, este valor se hace cero (primera consideración).
- S_0 = Concentración de sustrato de entrada (mg/L)
- r_s = Tasa de utilización de sustrato (mg/Ld), la cual se puede estimar a partir de la siguiente ecuación:

$$r_s = K \frac{S \cdot X}{K_s + S} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde,

- K = Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismos, y está definido por el cociente entre la tasa máxima de crecimiento específico (μ_{max}) y el coeficiente de producción máxima (Y), el cual debe estar entre 0,4 y 0,8 acorde a la bibliografía.

Dado que se conocen los demás valores, se logra estimar el r_s . Teniendo esto en cuenta, el balance de sustrato tiene como incógnitas el caudal de salida, el caudal de purga, y el volumen del reactor, y queda expresado por la siguiente ecuación:

$$0 = Q_0 S_0 - (Q_S + Q_P) S - V r_s \quad \text{Ecuación 40}$$

Balance de Caudal en el Sistema Completo

Además, se sabe que el caudal que entra se dividirá luego entre el caudal de purga y el de salida, y por ende el balance de caudal queda expresado por la siguiente reacción:

$$Q_0 = Q_S + Q_P \quad \text{Ecuación 41}$$

Sustituyendo esto en la Ecuación 40, entonces la única incógnita restante es el volumen, y por ende se lo puede calcular con la Ecuación 42:

$$V = \frac{Q_0(S_0 - S)}{r_s} \quad \text{Ecuación 43}$$

Habiendo obtenido este valor, las incógnitas que quedan por definir son los caudales de salida, de purga y de reciclo, como también las concentraciones de biomasa en el reciclo y en la purga. Estas últimas dos concentraciones deben ser siempre mayores a la concentración de biomasa dentro del reactor. Por ende, se asume que la concentración tanto de reciclo como la de purga serán el doble que la concentración dentro del reactor, y por ende tendrá un valor de 8.000 mg/L. Sustituyendo todos estos valores en la Ecuación 37, se puede calcular el caudal de purga. Además, una vez obtenido este valor, se obtiene el caudal de salida a partir de la Ecuación 41.

Asumiendo una altura de reactor de 5 metros, la cual suele ser la común en los lodos activos, se puede calcular también el área superficial, y por ende el diámetro del reactor (Tabla 18).

Como incógnita queda, entonces, el caudal de reciclo. Dado que este parámetro no se encuentra dentro del volumen de control 1 (el del sistema completo), se debe tomar otro volumen de control 2 que encuadre únicamente el sedimentador.

Balance de Biomasa en el Sedimentador

En el sedimentador, ingresa el efluente que proviene del reactor, y hay tres egresos: la parte tratada sale para ser dispuesta, parte de los lodos sedimentados son recirculados, y la otra parte de los lodos que también egresan del sistema para ser tratados (purga). Esto se observa en el balance de masa a continuación:

$$V \frac{dx}{dt} = (Q_0 + Q_R)X - Q_S X_S - Q_P X_P - Q_R X_R \quad \text{Ecuación 44}$$

Sabiendo que se trata de un estado estacionario, y que las concentraciones de biomasa de purga y de reciclo son las mismas, se puede despejar el caudal de reciclo y por ende calcularlo de la siguiente manera:

$$Q_R = \frac{Q_0 X - Q_P X_P}{X_R - X} \quad \text{Ecuación 45}$$

Contando con todos los parámetros de diseño y con el volumen, se puede finalizar de diseñar el reactor de lodos activos, cuyas dimensiones se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para el reactor de lodos activos.

Parámetros de Diseño			
Símbolo	Parámetro	Unidad	Valor
Qo	Caudal de entrada	m ³ /d	264
Qs	Caudal de salida	m ³ /d	256,7
Qp	Caudal de purga	m ³ /d	7,30
Qr	Caudal de reciclo	m ³ /d	249,4
So	Concentración de sustrato de entrada	mg/L	476,8
S	Concentración de sustrato de salida	mg/L	30
Xo	Concentración de biomasa de entrada	mg/L	0
X	Concentración de biomasa en el reactor	mg/L	4000
Xs	Biomasa de salida	mg/L	0
Xr	Concentración de biomasa de reciclo	mg/L	8000
Xp	Concentración de biomasa de purga	mg/L	8000
u _{max}	Tasa de crecimiento específico	1/d	1,26
Ks	Constante de saturación media	mg/L	80
Kd	Coeficiente de descomposición endógena	mg/L	0,06
r _x	Tasa neta de crecimiento bacteriano	mg/Ld	1134,5
Y	Coeficiente de producción máxima	mgX/mgS	0,6
K	Tasa máxima de utilización de sustrato	1/d	2,10
r _s	Tasa de utilización de sustrato	mg/Ld	2290,9
Dimensiones del Reactor de Lodos Activos			
Símbolo	Parámetro	Unidad	Valor
V	Volumen	m ³	51,5
h	Altura	m	5
A	Área	m ²	10,3
D	Diámetro	m	3,62

Una vez diseñado, se deben realizar ciertas verificaciones para confirmar el correcto funcionamiento del reactor. Estas consisten en el tiempo de retención hidráulico (θ - Ecuación

46), el tiempo de retención celular (θ_c - Ecuación 47), la relación sustrato/microorganismos (F/M - Ecuación 48), la carga volumétrica (CV - Ecuación 49).

$$\theta = \frac{V}{Q_0} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$\theta_c = \frac{V \cdot X}{Q_p \cdot X_p} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$F/M = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V \cdot X} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$CV = \frac{Q_0 \cdot S_0}{V} \quad \text{Ecuación 49}$$

Tabla 18. Verificaciones de parámetros de funcionamiento del sistema de lodos activos.

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valor	Rango
θ	Tiempo de retención hidráulico	h	4,7	4 - 8
θ_c	Tiempo de retención celular	d	4	5 - 15
F/M	Relación sustrato-biomasa	1/d	0,6	0,2 - 0,6
CV	Carga volumétrica	kg/d.m ³	2	0,3 - 2

Como se observa en la Tabla 18, el único parámetro por fuera del rango es el del tiempo de retención celular. Sin embargo, dado que está solo cae ligeramente por debajo, se asume que no afectará en gran medida el funcionamiento del reactor.

Sistema de Aireación

El reactor de lodos activos requiere un sistema de aireación para mantener los contenidos del tanque homogéneo, pero también para proveer el oxígeno que los microorganismos necesitan para reproducirse. Para poder diseñar este sistema de aireación, por ende, se comienza por calcular el requerimiento de oxígeno (RO) de los microorganismos, el cual está definido por la siguiente ecuación:

$$RO \left(\frac{kgO_2}{d} \right) = \frac{Q_0(S_0 - S)}{1000(g/kg)} \left(\frac{1}{f} - 1,42 P_x \right) \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde,

- f = Factor de conversión, el cual tiene un valor de 0,65
- P_x = Producción de lodos, la cual se puede calcular según la Ecuación 51.

$$P_x = \frac{Y}{1 + \theta_c * K_d} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde ya se conocen el coeficiente de producción máxima (Y), el tiempo de retención celular (θ_c), y el coeficiente de descomposición endógena (K_d).

A su vez, se debe cuantificar el requerimiento de oxígeno estándar (SOR), el cual representa la corrección a condiciones estándar del RO según las condiciones de presión y temperatura de la planta de tratamiento.

$$SOR \left(\frac{kgO_2}{d} \right) = \frac{RO}{\frac{\beta * C_{wat} - C_L}{C_s} * 1,024^{(T-20)} * \alpha} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde,

- β = Factor de corrección por salinidad y tensión superficial, el cual toma un valor de 1.
- C_{wat} = Concentración de saturación de oxígeno disuelto para el agua residual a una temperatura y altura dada (mg/L). Este valor se calcula multiplicando el valor de la solubilidad del oxígeno en base a la temperatura del efluente (20°C) por el factor de calibración por variación de la presión debido a la altura. Esto resultó en un valor de 9 mg/L.
- C_L = Concentración de oxígeno disuelto en condiciones de funcionamiento, la cual para lodos activos tiene un valor de 2 mg/L.
- C_s = Concentración de oxígeno saturado en agua limpia a 20°C y 1 atm, la cual es igual a 9,17 mg/L.
- T = Temperatura del efluente (20°C)
- α = Factor de conversión de transferencia de oxígeno al agua residual, el cual suele estar entre 0,8 y 0,85.

La SOR suele ser 1,6 veces mayor al RO, lo cual se cumple en este caso, como se puede observar al comparar los valores en la Tabla 19.

En cuanto al sistema de aireación, se deben utilizar difusores de burbuja fina de grilla movable, empleando el modelo RG-300 de la marca Repicky (Anexo 2, Figura 4). Además, adoptando una densidad de 1,7 difusores por metro cuadrado, se obtiene que se deben colocar 18 difusores. Esta cantidad de difusores debería ser suficiente para abastecer la totalidad del requerimiento de oxígeno estándar (SOR). La manera de asegurarse esto es verificando que el

caudal de oxígeno entregado por los difusores sea mayor que el SOR. Este caudal se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{O_2} = Q_{\text{diseño}} * \#_{\text{difusores}} * \frac{SOTE (\%/m)}{100} * H * 0,28 \frac{kg}{Nm^3} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde,

- $Q_{\text{diseño}}$ = Caudal de diseño para estos difusores, el cual es de 5 Nm³/día según el catálogo de Repicky (Anexo 2, Figura 4)
- $\#_{\text{difusores}}$ = Número de difusores (18)
- SOTE = Transferencia de oxígeno estándar por metro de profundidad y difusor (SOTE, del inglés Standard Oxygen Transfer Efficiency). Esta se puede estimar a partir de la densidad de difusores y el caudal de diseño, obteniendo en este caso un SOTE de 6,9 %/m (Anexo 2, Figura 6).
- H = Altura del reactor (m)

Se corroboró que el caudal de oxígeno suministrado sea mayor que el SOR, cuyos valores numéricos se pueden observar en la Tabla 19. Finalmente, para suministrar el oxígeno se requiere instalar un soplador. Teniendo en cuenta la diferencia de presión y el caudal de oxígeno necesario, se optó por un soplador modelo R200 del fabricante Repicky, el cual es capaz de entregar un caudal de aire de 47,4 m³/h bajo una presión de 700 mbar, trabajando a unas 2900 rpm. De igual manera que en los casos anteriores, se instalará un soplador extra con el fin de que no se pare la producción en caso de avería.

Tabla 19. Parámetros de diseño para el cálculo de difusores y sopladores que conforman el sistema de aireación para el reactor de lodos activos.

Diseño del Sistema de Aireación		
Parámetro	Unidad	Valor
Factor de conversión (f)	-	0,65
Producción de lodos (Px)	-	0,50
Requerimiento de oxígeno (RO)	kgO ₂ /d	98,5
Factor de corrección por salinidad y tensión (beta)	-	1
Concentración de saturación de O ₂ disuelto (C _{wat})	mg/L	9
Concentración de OD en funcionamiento (CL)	mg/L	2
Concentración de OS en agua limpia (CS)	mg/L	9,17
Temperatura del efluente	°C	20
Factor de conversión (α)	-	0,8

Requerimiento de oxígeno estándar (SOR)	kgO ₂ /h	6,7
Densidad difusores	difusores/m ²	1,7
Número de difusores	difusores	18,00
SOTE	%/m	6,9
Caudal de diseño	m ³ /dif.h	5
Caudal de oxígeno (QO ₂)	kgO ₂ /h	8,7
Pérdida de carga	mbar	40
Diferencia de presión	mbar	700
Caudal de aire soplador	m ³ /h	47,4

El porcentaje de remoción de DBO y SST del sistema de lodos activos es alrededor del 90% para ambos parámetros (Bustillo-Lacompte et al., 2015).

Sabiendo que el reactor se diseñó de manera tal de obtener una concentración de salida de DBO₅ de 30 mg/L, se puede estimar una eficiencia de aproximadamente el 93,7%. Al tratarse de un sistema biológico, la eficiencia de remoción de DQO será un tanto menor, asumiendo una eficiencia del 85%. En cuanto a las concentraciones de fósforo y nitrógeno, estas se verán reducidas, aunque no en gran medida, debido al propio metabolismo de los microorganismos aeróbicos que consumen estos nutrientes según la relación 100:5:1.

La concentración de SST permanece igual dado que aún no se removieron del efluente. Para esto, se cuenta con el sedimentador, cuyo diseño se detalla a continuación.

Diseño del Sedimentador

El sedimentador cuenta con cuatro zonas principales: la zona de entrada, la de sedimentación, la de recolección de lodos y la de salida. Se comienza diseñando la de sedimentación y de lodos, dado que las otras dos dependen de éstas.

Zona de Sedimentación

La zona de sedimentación representa la mayor porción del tanque, donde los lodos se sedimentan con el tiempo, y se trata de un tanque de geometría cilíndrica. Para calcular su área se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_{Sed} = \frac{Q_{Sed}}{C_s} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde,

- Q_{sed} = Caudal que ingresa al sedimentador, el cual es igual a la suma del caudal inicial y el caudal de reciclo (m^3/d)
- C_s = Carga superficial del sedimentador, la cual debe estar entre 8 y 33 m^3/m^2d , adoptando un valor de 25 m^3/m^2d .

Además, se puede estimar el volumen del reactor a partir del caudal que ingresa y el tiempo de permanencia según:

$$V_{sed} = t_p * Q_{sed} \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde el tiempo de permanencia debe estar entre 2 y 4 horas. Adoptando un valor de 3 horas, se obtiene el volumen final de la zona de sedimentación y por ende se logra estimar la altura de esta, la cual cae dentro del rango necesario (entre 3 y 4,5 metros). Todos estos valores se detallan en la Tabla 20.

Zona de Recolección de Lodos

La zona de recolección de lodos, llamada tolva, se diseña con geometría de cono truncado invertido, cuya altura depende del ángulo de inclinación. Asumiendo un ángulo de 45°, se puede estimar la altura de esta zona según:

$$H_{Lodos} = \frac{(D_s - D_i)}{2} * \tan(45) \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde,

- D_s = Diámetro superior del cono, el cual es equivalente al diámetro del sedimentador (m)
- D_i = Diámetro inferior del cono, para el cual se adopta un valor de 0,6 metros a fin de evitar atascamientos (m)

Una vez establecida la altura, se puede estimar el volumen de la tolva según la Ecuación 57, donde r_{sed} representa el radio del sedimentador, y r_{lodos} el radio de la zona de lodos. Los valores obtenidos también se encuentran en la Tabla 20.

$$V_{Lodos} = \frac{1}{3} * \pi * H_{Lodos} * (r_{sed}^2 + r_{lodos}^2 + r_{sed} * r_{lodos}) \quad \text{Ecuación 57}$$

Tabla 20. Parámetros de diseño y dimensiones de la zona de sedimentación y la zona de recolección de lodos del sedimentador.

Diseño Zona de Sedimentación

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q_{Sed})	m ³ /d	513,4
Carga superficial (C_s)	m ³ /m ² d	25,0
Área sedimentador (A_{Sed})	m ²	20,5
Diámetro sedimentador (D_s)	m	5,1
Tiempo de permanencia (t_p)	h	3,0
Volumen sedimentador (V_{Sed})	m ³	64,0
Altura sedimentación	m	3,0
Diseño Zona de Lodos		
Parámetro	Unidad	Valor
Ángulo inclinación	°C	45,0
Diámetro inferior (D_i)	m	0,6
Altura tolva (H_{Lodos})	m	2,26
Volumen zona lodos (V_{Lodos})	m ³	17,5

Zona de Entrada del Efluente

Al tratarse de un sedimentador de geometría circular, lo ideal es que la zona de entrada del efluente esté ubicada en el centro de la unidad, donde el efluente se transporta por una tubería e ingresa al sedimentador a través de orificios distribuidos de manera uniforme. De esta manera se logra distribuir el efluente uniformemente en el área transversal de la unidad.

Para diseñar esta tubería, se comienza por calcular el área de paso total (conformada por los distintos orificios) a partir de la siguiente ecuación:

$$A_p = \frac{Q}{v_p} \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde,

- Q = Caudal total de ingreso al sedimentador (m³/s)
- v_p = Velocidad de paso a través de cada orificio, la cual debe encontrarse entre 0,3 y 0,45 m/s.

Una vez obtenida el área de paso total, se puede calcular el área de paso de cada orificio asumiendo el diámetro de estos (en este caso, se asumió un diámetro de 0,03 metros). Realizando el cociente entre el área de paso total y el área de cada orificio, se puede estimar el número de orificios de la zona de entrada, y se asume una separación entre los orificios teniendo en cuenta que debe ser menor o igual a 0,5 metros. Además, estos orificios se colocarán dentro

del primer y último quinto de la altura del sedimentador, con el fin de con el fin de prevenir posibles cortocircuitos y arrastre de lodos en el fondo.

Adoptando un diámetro de la zona de entrada igual al 20% del diámetro del sedimentador, se logra diseñar de qué manera están distribuidos los orificios a lo largo del conducto, siempre manteniendo una separación entre orificios menor a 0,5 metros. En la siguiente tabla se detallan todos los parámetros y dimensiones obtenidas para la zona de entrada.

Tabla 21. Parámetros de diseño y dimensiones de la zona de entrada al sedimentador.

Diseño Zona de Entrada		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m ³ /s	0,0059
Velocidad de paso (v _p)	m/s	0,3
Área de paso total (A _p)	m ²	0,02
Diámetro orificio	m	0,03
Área de paso orificio	m ²	0,00071
Cantidad de orificios	orificios	28
Altura total orificios	m	3,23
Número de filas	Filas	7
Número de columnas	Columnas	4
Separación vertical orificios	m	0,35
Separación horizontal orificios	m	0,22
Diámetro zona de entrada	m	1

Zona de Salida del Efluente

Las estructuras de salida del sedimentador pueden ser vertederos, canaletas, u orificios. En este caso, se contará con vertederos de 7 cm de altura y un ángulo de abertura de 90°. La altura de cada vertedero está compuesta por unos 4 cm de altura útil (h_{v útil}), y 3 cm de revancha por seguridad. Sabiendo estas dimensiones, se puede estimar el ancho de cada vertedero según la siguiente ecuación:

$$W_v = 2 * h_{v\text{ real}} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde $h_{v \text{ real}}$ es la altura total, o real, del vertedero, y θ representa el ángulo de abertura. Para calcular el número de vertederos y el espacio entre vertederos se debe primero saber el caudal que evacúa cada ranura. Para eso, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_u = 1,34 * h_{v \text{ util}}^{2,47} \quad \text{Ecuación 60}$$

Realizando el cociente entre el caudal de diseño y el caudal unitario por vertedero, se obtiene el número de vertederos. Sabiendo este valor, y por ende la longitud total de los vertederos, y el perímetro del sedimentador, se logra calcular el espacio entre los vertederos (Tabla 22).

Estos vertederos vuelcan hacia un canal, cuya área está definida por el cociente entre el caudal de diseño y la velocidad de paso del canal, para la cual se adopta un valor de 0,02 m/s. Sabiendo el área del canal y adoptando un ancho de canal de 0,3 metros, se puede estimar la altura interna del mismo. Por su parte, la altura externa del canal es igual a la suma entre la altura interna de éste y la altura total del vertedero (teniendo en cuenta la revancha). Por último, se adopta una pendiente de 0,003 metros para que el efluente se movilice por gravedad. Todos los parámetros de diseño de la zona de salida se detallan en la Tabla 22.

Tabla 22. Parámetros de diseño y dimensiones de la zona de salida del sedimentador.

Diseño Zona de Salida		
Parámetro	Unidad	Valor
Altura útil del vertedero ($h_{v \text{ útil}}$)	m	0,04
Altura de seguridad	m	0,03
Altura total vertedero ($h_{v \text{ real}}$)	m	0,07
Ancho del vertedero (W_v)	m	0,14
Caudal de salida por vertedero (Q_u)	m ³ /s	0,00047
Número de vertederos	Vertederos	13
Longitud total vertederos	m	1,82
Perímetro sedimentador	m	16,1
Espacio entre vertederos	m	1,1
Velocidad de paso canal	m/s	0,02
Área canal	m ²	0,30
Ancho del canal	m	0,3
Altura interna canal	m	1,0
Altura externa canal	m	1,1

Pendiente canal	m	0,003
-----------------	---	-------

La eficiencia de remoción de los SST para los sedimentadores secundarios es mayor al 97%, mientras que las concentraciones de DBO y DQO no se verán afectadas en gran medida. Por otro lado, se obtendrá una remoción del 42% para el nitrógeno, y del 53% para el fósforo, debido a reacciones de los microorganismos dentro del sistema, como también acumulación en los lodos activos que sedimentan (Casallo Ibarra, 2015). Los valores finales del efluente luego de pasar por el sistema UASB y el de lodos activos se describen en la tabla a continuación.

Tabla 23. Caracterización del efluente al egresar del reactor UASB y el de lodos activos de la Alternativa 2 de tratamiento secundario, y su comparación con el límite legal

Parámetro	Unidad	Valor Salida UASB	Valor Salida Lodos Activos	Límite legal
Caudal	m ³ /h	11	21,4	-
pH	u pH	6,8	6,8	6,5 - 10
DQO	mg/L	1056,3	158,4	≤ 250
DBO5	mg/L	476,8	30,0	≤ 50
SST	mg/L	152,07	4,6	≤ 35
SSEE	mg/L	45	45	≤ 50
N total	mg/L	77,6	32,1	≤ 35
P total	mg/L	6,19	0,8	≤ 1

Como se puede observar a partir de la Tabla 23, todos los parámetros están dentro del límite establecido por la normativa para el vuelco en agua superficial. En particular, se logra reducir las concentraciones de N y P principalmente gracias al agregado del coagulante y floculante en el equipo IAF en el tratamiento primario de esta segunda alternativa, como también en el sedimentador de lodos activos, que también contribuirá en la remoción de nitrógeno y fósforo.

Vale recordar, además, que de optar por esta alternativa, se deberá realizar un cierre de lagunas. Si bien este proceso no se puede diseñar, se estimará su costo en el siguiente capítulo, lo cual también será un factor decisivo a la hora de considerar la alternativa elegida.

IV.IV Tratamiento Terciario

IV.IV.I Alternativa 1

IV.IV.I.i Laguna de Maduración

Como se mencionó anteriormente, estas lagunas no tienen como finalidad la remoción del contaminante, sino que la desinfección natural que se dará por parte de los organismos en la laguna y la sedimentación. Estas lagunas no están impermeabilizadas, y por ende se debe cumplir también con los límites de vuelco para absorción por superficie, los cuales son menos estrictos que los límites para vuelco en cuerpo de agua.

Para dimensionar la laguna de maduración, se calculó el volumen teniendo en cuenta el caudal recibido por la laguna y el tiempo de retención, el cual suele estar entre 5 y 20 días para las lagunas de maduración. En este caso, se calculó un tiempo de retención para que la infiltración no sea del 100%, sino que aproximadamente del 50% para que haya posibilidad de recircular el agua. Además, se utilizó el mismo ancho superficial de la laguna ya existente en el establecimiento. Todos estos datos se detallan en la Tabla 24 a continuación.

Tabla 24. *Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para la laguna de maduración.*

Parámetros de Diseño		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de ingreso	m ³ /dia	264
Tiempo de retención hidráulico	días	15
Volumen mínimo	m ³	3960
Dimensiones de la Laguna de Maduración		
Parámetro	Unidad	Valor
Altura	m	1
Ancho Superior	m	50
Largo Superior	m	125
Área Superior	m ²	6250
Inclinación talud	°	45
Ancho Inferior	m	48
Largo Inferior	m	123
Área Inferior	m ²	5904
Volumen laguna	m ³	4088

IV.IV.I.ii Cámara de Cloración

Como se mencionó en la sección anterior, la cámara de cloración para la Alternativa 1 será colocada a continuación de la laguna de maduración, con el propósito de finalizar con la desinfección y llegar a una concentración de coliformes totales final que sea admisible para el

reuso. Para eso, se conectarán mediante una canaleta que tendrá una reja fina similar a la del efluente cloacal, con el fin de evitar que plantas, algas, o fauna puedan ingresar a la cámara de cloración.

El valor límite de coliformes totales es menor a 2000 UFC/100 mL según la Resolución 336/03 de la Provincia de Bs. As., y menor a 500 UFC/100 mL según la Resolución 283/19 de ACUMAR, tanto para vuelco para riego (absorción por suelo), como para vuelco en cuerpo de agua. Sin embargo, dado que el efluente será reutilizado para limpieza de ciertos sectores y manipulado por el personal, se utilizará un límite más estricto de 200 UFC/100 mL, el cual es el recomendado por la US EPA y la OMS para agua de uso recreativo.

Para diseñar esta cámara se comienza por estimar la concentración de cloro que deberá suministrarse, la cual depende de la concentración de coliformes inicial y a la que se desee llegar luego del tratamiento, mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{N_0} = \left(1 + 0,23 \frac{l}{\text{min. mg}} * C_{Cl} * t_c\right)^{-3} \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde,

- N = Concentración de coliformes totales finales (200 UFC/100 mL).
- N_0 = Concentración de coliformes totales al ingresar a la cámara de cloración. La concentración inicial de coliformes para el efluente de la industria cárnica suele estar entre 10^7 y 10^9 UFC/100 mL; sin embargo, esta concentración disminuye al pasar por todo el tren de tratamiento. Este valor N_0 , por ende, va a ser distinto para cada alternativa, y sus valores se pueden observar en la Tabla 25.
- t_c = Tiempo de contacto, el cual debe estar entre 20 y 30 minutos.
- C_{Cl} = Concentración de cloro residual necesaria para reducir la concentración de coliformes iniciales (N_0) a la concentración final (N).

Una vez despejada la concentración de cloro para reducir los coliformes a la concentración deseada, se le sumó un adicional de 1 mg/L para cumplir con la concentración mínima requerida para la reutilización del efluente. Multiplicando el valor de la concentración de cloro residual por el caudal diario que ingresa a la cámara de cloración, se puede estimar la dosis de cloro diaria a administrar. En el caso de la Alternativa 1, el caudal diario será el necesario para abastecer los procesos de limpieza para los que se aplicará el agua en reuso, y por ende será distinto al caudal de salida de las lagunas facultativas, dado que gran parte del efluente permanecerá en la laguna de maduración por más tiempo, para lentamente evaporarse o infiltrarse en el suelo.

Para dimensionar la cámara de cloración, se comienza por calcular el volumen multiplicando el caudal y el tiempo de contacto. Sabiendo que la altura recomendada por ENOHSA para las cámaras de cloración es de entre 1,5 y 3 metros, se adopta una altura total de 1,5, con 1,2 metros de altura útil y 0,3 metros de revancha. Sabiendo estos valores, se puede calcular el área de la superficie de la cámara, y adoptando un largo de la cámara, se puede estimar también el ancho de ésta. Todos estos valores se observan en la Tabla 25.

Una vez diseñada la cámara, se procede a diseñar los canales dentro de ésta. Para esto, ENOHSA establece que el recorrido hidráulico del efluente en la cámara debe ser al menos 40 veces más grande que el ancho del canal (donde el recorrido hidráulico es el largo de cada canal multiplicado por la cantidad de canales). Asumiendo un ancho de canal de aproximadamente 20 cm, se obtiene el número de canales y por ende el número de tabiques, para los cuales se asume un espesor de 10 cm. Todos los valores obtenidos para el diseño de la cámara de cloración de ambas alternativas se puede observar en la Tabla 25.

IV.IV.II Alternativa 2

IV.IV.II.i Cámara de Cloración

Esta se diseña de la misma manera que la cámara de cloración para la Alternativa 1, con la diferencia que en éste caso el caudal será bastante mayor dado que todo el efluente proveniente del reactor de lodos activos ingresará a la cámara de cloración para que parte sea recirculado, y otra parte sea dispuesto en el cuerpo de agua cercano.

Además, la concentración de coliformes de entrada a la cámara de cloración también será distinta para esta alternativa, dado que no cuentan con la laguna de maduración previa a la cámara y por ende la desinfección fue menor. Estas diferencias se pueden observar en la Tabla a continuación.

Tabla 25. *Parámetros de diseño y dimensiones obtenidas para la cámara de cloración, junto con el canal interno de ésta.*

Parámetros de diseño			
Parámetro	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
Coliformes totales iniciales	UFC/100 mL	10^7	10^7
Coliformes totales salida (N_0)	UFC/100 mL	1920	10^4
Coliformes totales finales (N)	UFC/100 mL	200	200
Tiempo de contacto	minutos	25	25
Concentración de Cloro	mg/L	3,80	7,23

Caudal de entrada a cámara de cloración	m ³ /d	130	256,7
Dosis de cloro diaria	kg/d	0,49	1,86
Diseño cámara de cloración			
Parámetro	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
Volumen cámara	m ³	2,26	4,46
Altura sin revancha	m	1,2	1,2
Altura total	m	1,5	1,5
Área superficial	m ²	2	4
Largo cámara	m	2	2,5
Ancho cámara	m	1,10	1,5
Diseño canal			
Parámetro	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
Largo canal	m	2	2,5
Ancho del canal	m	0,2	0,25
Número de canales	Canales	4	4
Número de tabiques	Tabiques	3	3
Espesor tabiques	m	0,1	0,16

IV.V Tratamiento de Lodos

Como se mencionó en el capítulo anterior, a lo largo del tratamiento se generan lodos que también deben ser tratados y dispuestos de manera acorde. Para diseñar el tratamiento de lodos, debe primero conocerse la cantidad de lodos generados a lo largo del proceso. En ambos casos, se generarán lodos o materiales sólidos en las rejillas, el tamiz y el sistema IAF. Particularmente para cada alternativa, la 1 genera lodos en las lagunas anaeróbica y facultativas, y la 2 genera lodos en el reactor UASB y el de lodos activos.

IV.I.I Generación de Lodos

Para calcular la generación diaria de lodos se comienza por calcular la masa de lodos (M_L) que se genera en cada unidad mediante la siguiente ecuación, la cual es válida para todas las unidades salvo la de lodos activos:

$$M_L = Q * SST * Ef_{SST} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde,

- Q = Caudal de entrada a la unidad de tratamiento (m^3/d)
- SST = Concentración de sólidos suspendidos totales a la entrada de la unidad de tratamiento (mg/L)
- Ef_{SST} = Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (%)

Para los lodos activos, la masa de lodos generada depende del caudal de purga (Qp) y la concentración de biomasa purgada (Xp) según la siguiente ecuación:

$$M_L = Qp * Xp \quad \text{Ecuación 63}$$

Una vez que se obtiene la masa de lodos, se desea calcular el volumen diario de lodos generados. Para esto, es necesario primero calcular su densidad, la cual está definida según la ecuación 64:

$$\delta_L = \delta'_L * \delta_A * \%S \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde,

- $\%S$ = Porcentaje de sólidos, el cual va a ser distinto para cada unidad y su valor se obtiene a partir de la Tabla 4 del Anexo 2.
- δ_A = Densidad del agua (la cual es de 997 kg/m^3)
- δ'_L = Densidad relativa de lodos, la cual se calcula según la ecuación 65.

$$\frac{1}{\delta'_L} = \frac{\%S}{\delta'_S} + \frac{\%A}{\delta'_A} \quad \text{Ecuación 65}$$

Donde,

- δ'_S = Densidad relativa de sólidos, la cual va a ser distinta para cada unidad y su valor se obtiene a partir de la Tabla 4 del Anexo 2.
- δ'_A = Densidad relativa del agua (la cual se asume 1)
- $\%A$ = Porcentaje de agua, el cual va a ser distinto para cada unidad y su valor se obtiene a partir de la Tabla 4 del Anexo 2.

Una vez estimados estos valores, se puede calcular el caudal (o volumen diario) de lodos según la siguiente ecuación:

$$Q_L = \frac{M_L}{\delta_L} \quad \text{Ecuación 66}$$

Este procedimiento se realizará para todas las unidades generadoras de lodos como se detalló al comienzo de la sección. Con la diferencia de que el sistema IAF generará, además de los sólidos suspendidos, lodos que provienen de las grasas y aceites que se remueven en ese sistema. Para calcular esta cantidad se realiza el mismo procedimiento, pero utilizando la concentración de SSEE en lugar de SST en la Ecuación 62. Luego, se suman ambos valores para obtener el valor de lodos generados por la sedimentación de SST, y la remoción de grasas y aceites.

Tabla 26. Parámetros de diseño y resultados obtenidos para la generación de lodos de cada etapa de la planta de tratamiento para ambas alternativas.

Unidad	Caudal (m³/d)	SST / SSEE (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)	Masa de Lodos (kg/d)	Densidad relativa de sólidos	Porcentaje de sólidos (%)	Porcentaje de agua (%)	Densidad relativa de lodos	Densidad de Lodos (kg/m³)	Caudal de Lodos (m³/d)
Rejas	259,92	2500	5	32,49	1,4	12	88	1,04	123,9	0,26
Tamiz	259,92	1662,5	30	129,64	1,4	12	88	1,04	123,9	1,05
IAF SST	259,92	1662,5	70	302,48	1,3	10	90	1,02	102,1	2,96
IAF SSEE	259,92	450	90	105,27	0,9	3	97	1,00	29,8	3,53
Alternativa 1										
Laguna anaeróbica	259,92	506,9	70	92,23	1,7	9	91	1,04	93,2	0,99
Laguna facultativa 1	259,92	152	60	23,70	1,7	9	91	1,04	93,2	0,25
Laguna facultativa 2	259,92	60,8	60	9,48	1,7	9	91	1,04	93,2	0,10
Total de lodos generados Alternativa 1										9,15
Alternativa 2										
UASB	259,92	506,9	70	92,23	1,3	7	93	1,02	70,9	1,30
Lodos Activos	259,92	152,07	97	58,40	1,4	7	93	1,02	71,2	0,82
Total de lodos generados Alternativa 2										9,92

IV.I.II Captación y deshidratación de lodos

Dado que las distintas unidades de la planta se limpian en distintos momentos, previo a la deshidratación los lodos o residuos sólidos serán acopiados en un tanque de acumulación para poder ser pasados en conjunto por el filtro.

Las rejas y el tamiz tienen una limpieza diaria, y la cámara IAF una limpieza semanal. Los residuos y lodos generados en estos tres equipos serán recolectados por los trabajadores en tachos, para luego ser almacenados en el tanque de acumulación, que tendrá un volumen de 8 m³.

Para el tratamiento secundario, la limpieza de las lagunas en la primera alternativa se realizará cada 5 años. En el caso de la anaeróbica, será con una bomba de succión de lodos para el cual se dejará un lugar en la membrana para colocar la manguera. Esta se encontrará en el primer tercio de la laguna, que es donde mayor sedimentación hay. Las lagunas facultativas, al estar descubiertas, se limpiarán con un bote de dragado alquilado, y este lodo extraído también se enviará al tanque de almacenamiento para ser pasado por el filtro para el proceso de deshidratación.

Para la segunda alternativa, la cámara UASB y el sistema de lodos activos tiene una limpieza semanal y los lodos serán acopiados en el mismo tanque de 8 m³ junto con los lodos de las unidades de pretratamiento y tratamiento primario.

En cuanto a la deshidratación, la Alternativa 1 tendrá entonces una deshidratación bisemanal (cada 15 días), y otra cada 5 años. La Alternativa 2 realizará una deshidratación bisemanal para todas las unidades. Esto se realiza a través del filtro de banda OMEGA 100000 de marca EMO (Figura 7, Anexo 2). El porcentaje de sólidos en el lodo (que previo al filtro estaba entre 7% y 12% como se describió en la Tabla 26), pasa a ser del 40% para todas las unidades. Los valores de densidades y caudal de lodo luego del filtro se detallan en la Tabla 5 del Anexo 2. Conociendo los valores detallados en esa tabla, se puede calcular el volumen de lodo deshidratado que se generará para ambas alternativas cada 15 días o cada 5 años, dependiendo de la frecuencia de compostaje, como se describe en la Tabla 27.

Tabla 27. Volumen de lodos generado que irá a compostaje para ambas alternativas.

Unidad	Frecuencia de compostaje	Volumen para compostaje Alternativa 1 (m ³)	Volumen para compostaje Alternativa 2 (m ³)
Rejas	15 días	0,32	0,32

Tamiz	15 días	1,30	1,30
IAF SST	15 días	2,58	2,58
IAF SSEE	15 días	0,31	0,31
Laguna anaeróbica	5 años	79,32	-
Laguna facultativa 1	5 años	20,39	-
Laguna facultativa 2	5 años	8,16	-
UASB	15 días	-	0,55
Lodos Activos	15 días	-	0,34
Total bisemanal		4,51	5,40
Total cada 5 años		107,86	-

A partir de esta tabla se puede concluir que la Alternativa 1 generará 4,51 m³ de lodos cada 15 días, y cada 5 años deberá realizarse la deshidratación adicional de aproximadamente 108 m³ de lodos proveniente de las lagunas. Por otro lado, la Alternativa 2 generará 5,4 m³ cada 15 días. Una vez deshidratados, los lodos se enviarán a pilas de compostaje para su tratamiento final.

IV.I.III Estabilización

La estabilización de lodos se dará por un sistema de compostaje de pilas aireadas. Como se mencionó anteriormente, se creará una nueva pila cada dos semanas, y a su vez cada una permanecerá dos meses en el proceso de compostaje. Durante ese tiempo, cada pila es aireada manualmente utilizando técnicas de volteo mecánico 3 veces por semana para que su estabilización sea más eficiente. Por ende, siempre habrá cuatro pilas en simultáneo.

La Tabla 28 muestra los tamaños de las pilas para cada alternativa, donde la Alternativa 1 generará 10 pilas nuevas por dos meses cada 5 años con el fin de tratar los lodos de las lagunas. Vale la pena resaltar que el volumen final de la pila puede ser ligeramente mayor dado que estos lodos suelen mezclarse con las excretas de los animales, como también materiales de soporte como aserrín, paja, o restos de poda, para mejorar la aireación y ajustar la relación carbono-nitrógeno. Además, las pilas se encontrarán separadas por pasillos de aproximadamente 1 metro de ancho con el fin de permitir la circulación de aire y el manejo de las palas y el personal para el volteo de las pilas.

Tabla 28. Dimensiones obtenidas de las pilas de compostaje para ambas alternativas.

Alternativa	Frecuencia de creación de una unidad	N° de pilas	Volumen de c/ pila (m ³)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Largo (m)
Alternativa 1	Bi-semanal	1	4,51	1,5	1	6,0
	Cada 5 años	10	10,8	2	1,3	8,3
Alternativa 2	Bi-semanal	1	5,40	1,5	1	7,2

IV.VI Cámara de Muestro y Medición de Caudal

Si bien hay diversas maneras de realizar la medición del caudal, en este caso se utilizará un vertedero triangular de pared delgada, correspondiente con las dimensiones recomendadas por la Autoridad del Agua para aquellas empresas que tengan caudales de hasta 25 m³/hora. Las dimensiones y geometría de esta unidad se diseñarán según lo establecido por el correspondiente expediente 2436-26529/12 de la Autoridad del Agua (observar Figura 8 del Anexo 2). Esta cámara se colocará luego de las lagunas facultativas, y previo a la laguna de maduración, de manera de asegurarse que el efluente cumpla con los parámetros límite previo al vuelco por superficie en la laguna de maduración.

IV.VII Sistema de Recirculación

Para reutilizar el agua tratada luego de la cámara de cloración, se instalará un tanque de almacenamiento de aproximadamente 170 m³, que permitirá tener un volumen adecuado para cubrir las necesidades de limpieza en los puntos de uso, como los corrales y la canilla ubicada cerca del estacionamiento, destinada a la limpieza de camiones y caminos. Este tanque estará enterrado en lugar de en altura debido a su tamaño y capacidad, lo cual facilita su construcción y reduce la necesidad de estructuras de soporte adicionales.

Para asegurar el abastecimiento constante de agua tratada, el sistema contará con una bomba centrífuga que recirculará el agua desde el tanque hasta los puntos de uso cuando sea necesario. Además, el tanque estará equipado con un medidor de nivel, como una perita de control de nivel o un sistema de sensor similar, que permitirá monitorear el volumen de agua disponible y evitar que el tanque se vacíe o colapse por exceso de agua. Este sistema de control es clave para garantizar un funcionamiento eficiente y sin interrupciones en el suministro de agua tratada en toda la instalación. Además, en el caso de vaciarse el tanque, se podrá utilizar el sistema usual de agua corriente para abastecer las necesidades de agua para limpieza de camiones, corrales o caminos.

IV.VIII Sistema de Conducción

El sistema de conducción se encarga de trasladar los efluentes y lodos generados entre las diferentes unidades dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales. Este sistema incluye tuberías, accesorios y bombas, y se diseña para minimizar las pérdidas de carga del fluido entre las unidades. Según las características de cada trayecto y unidad, el sistema puede operar por gravedad o mediante presión.

En el diseño, se asume que el efluente es un fluido ideal, lo que implica que no es viscoso, es incompresible y no presenta rotaciones internas. Además, el flujo se considera de régimen turbulento de manera que no se depositan sólidos en las cañerías, y que se encuentra en estado estacionario en todas las tuberías, con velocidad constante en el tiempo. Para el transporte de barros, se asume al mismo como un líquido viscoso. Las velocidades recomendadas para líquidos con baja viscosidad varían entre 1,2 y 2,4 m/s para conducciones por bombeo, mientras que para flujos por gravedad están entre 0,6 y 3 m/s, como se detalla en la Tabla 29. Además, la pendiente ideal para las tuberías a gravedad se establece en un rango de 1‰ a 3‰.

Tabla 29. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. Fuente: McCabe et al., 1998

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

La determinación de los diámetros de las cañerías de conducción se realiza verificando las velocidades de flujo en la tabla anterior. Además, todas las tuberías utilizadas son cerradas y están fabricadas en PVC, al igual que los accesorios, con el objetivo de minimizar riesgos ambientales y sanitarios. Este material ofrece múltiples ventajas, como alta resistencia mecánica y química, baja rugosidad hidráulica, facilidad de instalación y transporte, larga vida útil y bajo mantenimiento.

Para reducir costos energéticos, se diseña el sistema con tuberías lo más cortas posibles, evitando en la medida de lo posible accesorios, bombas y cambios de dirección, ya que estos elementos incrementan las pérdidas de carga.

Siempre que sea factible, las conducciones funcionarán por gravedad. En los casos que requieran impulsión, se utilizarán bombas, principalmente sumergibles. Estas bombas son preferidas porque están protegidas contra las condiciones climáticas al estar sumergidas y consumen menos energía en comparación con las de superficie, ya que la presión del agua facilita el flujo hacia la siguiente unidad. Sin embargo, las bombas sumergibles presentan el inconveniente de ser menos accesibles para su mantenimiento en comparación con las bombas de superficie en cámara seca. La siguiente tabla muestra la denominación de cada tramo para ambas alternativas, aclarando si la conducción de cada una será por gravedad o por presión (bombeo). Vale resaltar que, si bien el tramo de las rejillas al tamiz está identificado como T2G y será por gravedad, no habrá una cañería que conecte estos equipos sino que desemboca directo de las rejillas a la sección del tamiz.

Tabla 30. Denominación y ubicación de todos los tramos que componen el sistema de conducción de la planta de tratamiento para cada alternativa.

Ambas Alternativas				
Etapas de Tratamiento	Unidad Inicial	Unidad Final	Nombre de Tramo	Flujo
Pretratamiento	Planta Productiva	Rejas	T1G	Gravedad
	Rejas	Tamiz	T2G	Gravedad
	Tamiz	Ecualizador	T3B	Bombeo
Tratamiento Primario	Ecualizador	IAF	T4B	Bombeo
	IAF	Pozo de bombeo	T5G	Gravedad
Tratamiento de Lodos	Tamiz	Tanque de Acumulación	TLB1	Bombeo
	IAF	Tanque de Acumulación	TLB2	Bombeo
Cloacal	Red cloacal	Rejas Finas	TC1G	Gravedad
	Rejas Finas	Pozo de Bombeo	TC2G	Gravedad
Alternativa 1				
Etapas de Tratamiento	Unidad Inicial	Unidad Final	Nombre de Tramo	Flujo
Tratamiento Secundario	Pozo de bombeo	Laguna anaeróbica	A1.T6B	Bombeo
	Laguna Anaeróbica	Laguna Facultativa 1	A1.T7G	Gravedad
	Laguna Facultativa 1	Laguna Facultativa 2	A1.T8G	Gravedad
Tratamiento Terciario	Laguna Facultativa 2	Laguna de Maduración	A1.T9G	Gravedad

	Laguna de Maduración	Cámara de Cloración	A1.T10B	Bombeo
	Cámara de Cloración	CTMyMC	A1.T11G	Gravedad
Recirculación	CTMyMC	Tanque de Recirculación	A1.T12G	Gravedad
	Tanque de Recirculación	Planta Productiva	A1.T13B	Bombeo
Tratamiento de Lodos	Tanque de Acumulación	Filtro de Bandas	A1.T14B	Bombeo
	Filtro de Bandas	Recirculación al Ecu.	A1.T15B	Bombeo
Alternativa 2				
Etapas de Tratamiento	Unidad Inicial	Unidad Final	Nombre de Tramo	Flujo
Tratamiento Secundario	Pozo de Bombeo	Reactor UASB	A2.T6B	Bombeo
	Reactor UASB	Lodos Activos	A2.T7G	Gravedad
	Lodos Activos	Sedimentador 2rio	A2.T8G	Gravedad
	Sedimentador 2rio	Lodos Activos (Reciclo)	A2.T9B	Bombeo
Tratamiento Terciario	Sedimentador 2rio	Cámara de Cloración	A2.T10G	Gravedad
	Cámara de Cloración	CTMyMC	A2.T11G	Gravedad
Recirculación	CTMyMC	Tanque de Recirculación	A2.T12G	Gravedad
	Tanque de Recirculación	Planta Productiva	A2.T13B	Bombeo
Tratamiento de Lodos	UASB	Tanque de Acumulación	A2.T14B	Bombeo
	Sedimentador 2rio		A2.T15B	Bombeo
	Tanque de Acumulación	Filtro de Bandas	A2.T16B	Bombeo
	Filtro de Bandas	Recirculación al Ecu.	A2.T17B	Bombeo

Una vez establecido esto, se pasa a realizar los cálculos para el diseño de las conducciones por gravedad y por bombeo.

IV.VIII.I Conducción por Gravedad

Para diseñar las cañerías a gravedad, se utilizan cañerías parcialmente llenas (Figura 18), cuyas relaciones están descritas según las ecuaciones a continuación.

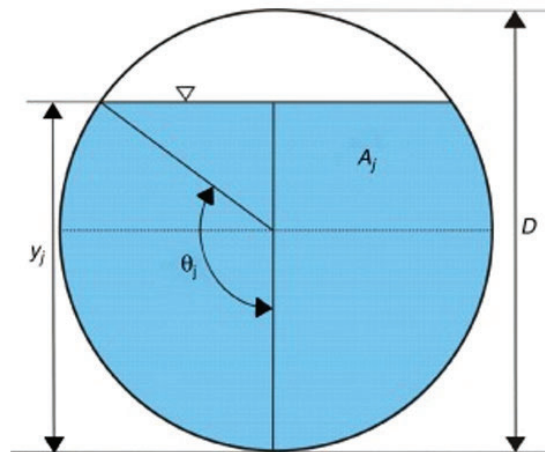


Figura 18. Esquema de cañería parcialmente llena. Fuente: Cátedra Ingeniería del Agua, Ingeniería Ambiental UNSAM (2021)

$$A_m = \frac{D^2}{4} (\theta - \sin(\theta)\cos(\theta)) \quad \text{Ecuación 67}$$

$$P_m = D * \theta \quad \text{Ecuación 68}$$

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad \text{Ecuación 69}$$

Donde,

- A_m = Área mojada (m^2), representada por A_j en la Figura 18. Esta también se puede obtener dividiendo el caudal de cada tramo por la velocidad del flujo en la cañería.
- D = Diámetro de la tubería (m)
- θ = Ángulo desde la superficie de la lámina hasta el centro del tubo ($^\circ$). Este debe ser menor o igual a 120° de manera que la relación entre el diámetro (D) y la altura de llenado (y) de 0,75 o más.
- P_m = Perímetro mojado (m)
- R_h = Radio hidráulico (m)

Sabiendo que el área mojada (A_m) también se puede estimar como el caudal de cada tramo dividido por la velocidad de flujo en la cañería (Q/v), y asumiendo una velocidad de 0,6 m/s para la conducción por gravedad como se detalla en la Tabla 29, se puede obtener el área mojada para cada tramo. Con este valor se estima el diámetro de la tubería (D), al despejarlo de

la Ecuación 67, para luego obtener el perímetro mojado (P_m) según la Ecuación 68 y finalmente el radio hidráulico (R_h) con la Ecuación 69. Todos estos valores se pueden observar en la Tabla 31.

Por último, se verifica la velocidad de escurrimiento adoptada (0,6 m/s) mediante la ecuación de Chezy-Manning:

$$v_e = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 70}$$

Donde,

- v_e = Velocidad de flujo según Chezy-Manning (m/s)
- n = Coeficiente de Manning, el cual es de 0,011 para cañerías de PVC
- I = Pérdida de carga o pendiente, la cual es mayor o igual al 0,3% (Aysa, 2019)

IV.VIII.II Conducción por Bombeo

Para este tipo de conducciones, la velocidad mínima para líquidos poco viscosos es de 1,2 m/s, como se expresa en la Tabla 29. Por otro lado, para líquidos viscosos (como los lodos), la velocidad mínima adoptada será de 0,15 m/s. Sabiendo estos valores, se puede calcular el área mojada de la misma manera que para la conducción por gravedad (Q/v), para, a partir de ésta, estimar el diámetro, perímetro y radio hidráulico con cálculos simples, asumiendo que la cañería va completamente llena. Los valores de diámetros, áreas y velocidades obtenidos para ambas conducciones se detallan en la Tabla 31 a continuación.

Tabla 31. Parámetros y dimensiones de las conducciones por gravedad y por presión.

Tramo	Caudal del Efluente (m ³ /s)	Velocidad en Cañerías (m/s)	Área Mojada (m ²)	Ángulo de Mojado (°)	Diámetro de Tubería (m)	Radio Hidráulico (m)
T1G	0,0133	0,6	0,022	120	0,19	0,057
T3B	0,0133	1,5	0,010	-	0,11	0,057
T4B	0,0030	1,3	0,002	-	0,05	0,027
T5G	0,0030	0,6	0,005	100	0,10	0,023
TLB	0,00001	0,15	0,0001	-	0,01	0,005
TC1G	0,0001	0,6	0,0002	30	0,09	0,001
TC2G	0,0001	0,6	0,0002	30	0,09	0,001
A1.T6B	0,0031	1,3	0,002	-	0,05	0,027
A1.T7G	0,0031	0,6	0,005	60	0,18	0,013
A1.T8G	0,0031	0,6	0,005	60	0,18	0,013

A1.T9G	0,0031	0,6	0,005	60	0,18	0,013
A1.T10B	0,0015	1,2	0,001	-	0,04	0,020
A1.T11G	0,0015	0,6	0,003	60	0,13	0,009
A1.T12G	0,0015	0,6	0,003	60	0,13	0,009
A1.T13B	0,0133	1,2	0,011	-	0,12	0,059
A1.T14B	0,0001	0,15	0,001	-	0,03	0,015
A1.T15B	0,000007	0,15	0,00004	-	0,01	0,004
A2.T6B	0,0031	1,2	0,003	-	0,06	0,028
A2.T7G	0,0031	0,6	0,005	120	0,09	0,027
A2.T8G	0,0059	0,6	0,010	120	0,13	0,038
A2.T9B	0,0029	0,15	0,019	-	0,16	0,078
A2.T10G	0,0030	0,6	0,005	120	0,09	0,027
A2.T11G	0,0030	0,6	0,005	120	0,09	0,027
A2.T12G	0,0030	0,6	0,005	120	0,09	0,027
A2.T13B	0,0133	1,2	0,011	-	0,12	0,059
A2.T14B	0,00002	0,15	0,0001	-	0,01	0,006
A2.T15B	0,00001	0,15	0,0001	-	0,01	0,004
A2.T16B	0,00012	0,15	0,0008	-	0,03	0,016
A2.T17B	0,000006	0,15	0,00004	-	0,01	0,004

IV.VIII.III Pérdida de Carga en Tuberías

En las conducciones, las pérdidas de carga se deben a la pérdida de energía dinámica del fluido, causada por la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes del conducto. Estas pérdidas de carga se dan tanto en las cañerías como en los accesorios, aunque pueden ser despreciables cuando las velocidades son muy bajas (como en el caso de las conducciones por gravedad o los líquidos viscosos), dado que se relacionan proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad, y se pueden calcular a partir de la ecuación de Darcy-Weisbach a continuación:

$$H_{\text{Fricción}} = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} + \Sigma \frac{K_{\text{accesorios}} * v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 71}$$

Donde,

- $H_{\text{Fricción}}$ = Pérdida de carga por fricción de las cañerías y los accesorios (m)

- L = Longitud de la tubería (m)
- D = Diámetro de la tubería (m)
- v = Velocidad de escurrimiento (m/s)
- g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)
- K_{accesorios} = Constante de los accesorios, la cual depende el accesorio y se detalla en la Tabla 6 del Anexo 2.
- f = Factor de fricción de Darcy, el cual es 4 veces el factor de Fanning, definido en la Ecuación 72.

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = -3,6 \log_{10} \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{e}{3,7D} \right)^{10/9} \right] \quad \text{Ecuación 72}$$

Donde, a su vez, e es el coeficiente de rugosidad, el cual toma un valor de 0,0015 mm para el PVC, y Re representa el número de Reynolds, el cual se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 73}$$

Donde D es el diámetro de la tubería, v la velocidad en la tubería, ρ la densidad del fluido (997 kg/m³), y μ la viscosidad cinemática, la cual es de 10⁻⁶ kg/ms.

Con todos estos valores se puede calcular la primera parte de la Ecuación 71, que representa la pérdida de carga en la tubería (cuyos valores obtenidos se detallan en la Tabla 32). Para poder calcular la segunda parte de la Ecuación 71, que representa la pérdida de carga por los accesorios, se debe tener en cuenta qué accesorios se encuentran en cada tramo y cual es la constante de cada uno. Ambos factores se describen en la Tabla 6 del Anexo 2. Finalmente, la Tabla 32 exhibe los parámetros y valores calculados en relación a la pérdida de carga de las cañerías, de los accesorios, y la total para cada tramo.

Tabla 32. Parámetros y valores calculados para la pérdida de carga de cada tramo del sistema de conducción.

Tramo	Reynolds	Factor de fricción de Darcy	Largo del Tramo (m)	Pérdida de carga en tubería (Hf caño) (m)	Pérdida de carga en accesorios (Hf acc) (m)	Pérdida de carga total (Hf) (m)
T1G	1,12E+08	0,008	10	0,008	-	0,008
T3B	1,59E+08	0,009	5	0,046	0,3903	0,437
T4B	7,04E+07	0,010	9	0,137	0,2328	0,370
T5G	6,12E+07	0,009	3	0,005	-	0,005

TBL	1,52E+06	0,014	15	0,023	0,0024	0,026
TC1G	5,13E+07	0,009	10	0,019	-	0,019
TC2G	5,13E+07	0,009	8	0,015	0,0129	0,028
A1.T6B	7,09E+07	0,010	100	1,508	0,2932	1,801
A1.T7G	1,09E+08	0,008	180	0,144	0,0257	0,170
A1.T8G	1,09E+08	0,008	80	0,064	0,0257	0,090
A1.T9G	1,09E+08	0,008	100	0,080	0,0257	0,106
A1.T10B	4,78E+07	0,010	3	0,056	0,1984	0,254
A1.T11G	7,65E+07	0,008	1,5	0,002	-	0,002
A1.T12G	7,65E+07	0,008	2	0,002	-	0,002
A1.T13B	1,42E+08	0,008	260	1,354	0,1029	1,457
A1.T14B	4,48E+06	0,011	3	0,001	0,0002	0,001
A1.T15B	1,11E+06	0,015	20	0,045	0,0016	0,046
A2.T6B	6,81E+07	0,010	5	0,061	0,2498	0,311
A2.T7G	5,37E+07	0,009	4	0,007	-	0,007
A2.T8G	7,49E+07	0,008	3	0,004	-	0,004
A2.T9B	2,34E+07	0,008	5	0,000	0,0047	0,005
A2.T10G	5,30E+07	0,009	3	0,006	-	0,006
A2.T11G	5,30E+07	0,009	1,5	0,003	-	0,003
A2.T12G	5,30E+07	0,009	2	0,004	0,0028	0,006
A2.T13B	1,42E+08	0,008	150	0,781	0,1029	0,884
A2.T14B	1,69E+06	0,013	10	0,014	0,0047	0,018
A2.T15B	1,34E+06	0,014	10	0,018	0,0047	0,023
A2.T16B	4,67E+06	0,011	3	0,001	-	0,001
A2.T17B	1,11E+06	0,015	20	0,045	-	0,045

IV.VIII.IV Nivelación de las Unidades de Tratamiento

Una vez establecido todo lo anterior, se procede a nivelar las unidades de tratamiento con el fin de establecer el nivel de enterramiento o elevación de cada una, siempre priorizando la practicidad de operación y favoreciendo los trayectos por gravedad. Este paso también es clave para definir la cantidad de bombas necesarias y su respectiva ubicación para conseguir una adecuada conducción en toda la planta de tratamiento.

Las Figuras 19 y 20 muestran un esquema de la planta de tratamiento para cada una de las alternativas, indicando la altura de cada unidad sobre el nivel del suelo, su profundidad, como también una indicación de qué trayectos se realizan a presión. En ambos casos, las unidades de tratamiento no están representadas a escala.

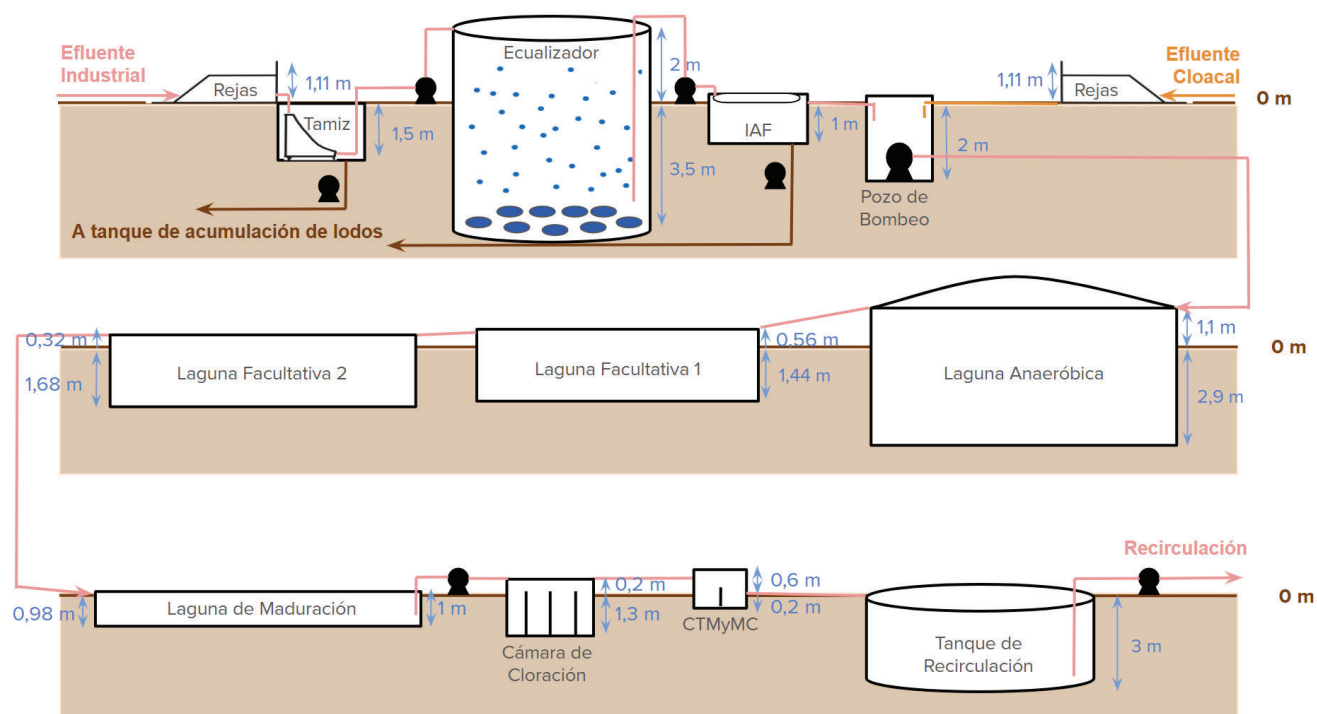


Figura 19. Esquema de niveles de enterramiento y altura sobre el terreno de las diferentes unidades de tratamiento, posición de bombas y tramos de conducción para la Alternativa 1.

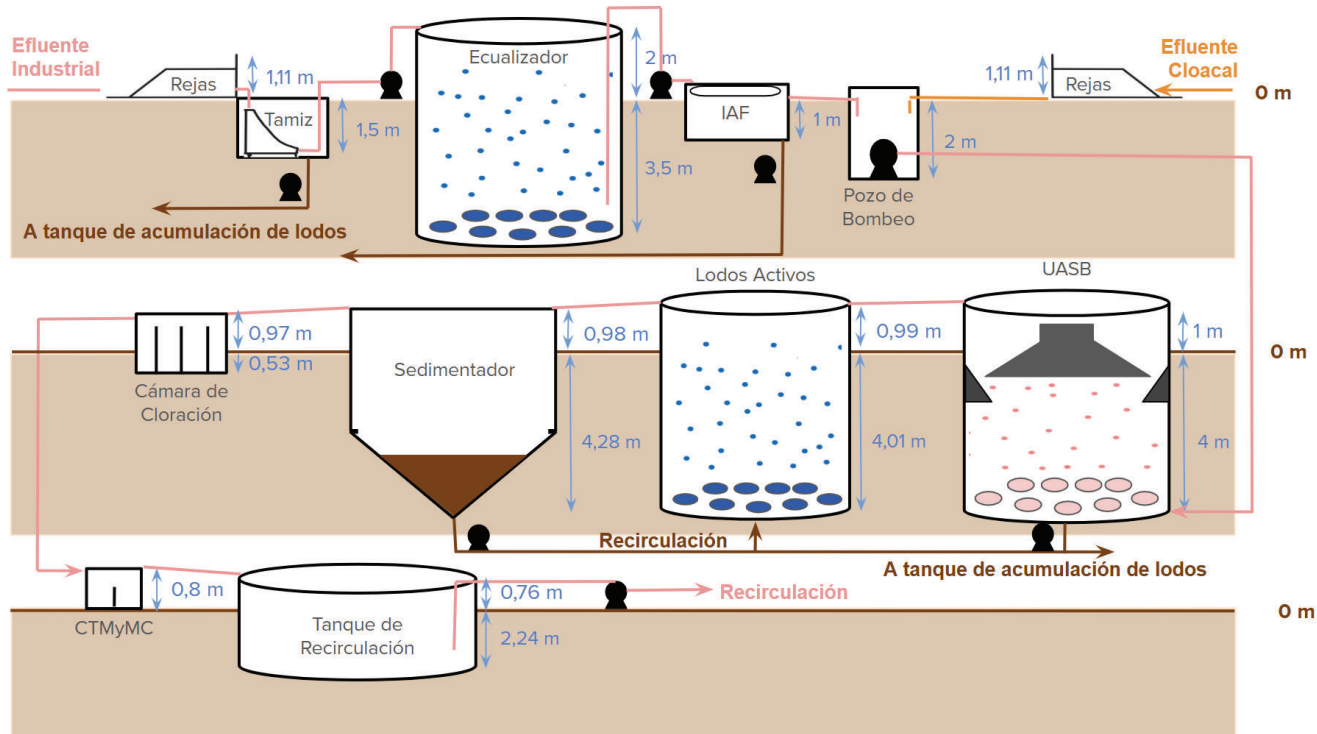


Figura 20. Esquema de niveles de enterramiento y altura sobre el terreno de las diferentes unidades de tratamiento, posición de bombas y tramos de conducción para la Alternativa 2.

Además, se agrega el esquema de niveles para el tratamiento de lodos. Estos, como se mencionó anteriormente, serán recolectados manualmente en las rejillas y el IAF, y llevados en tachos recolectores por los operadores hasta el tanque de almacenamiento. En cambio, los lodos generados en el tamiz serán enviados hacia el tanque de almacenamiento mediante una bomba.

En el caso del tratamiento secundario, para la Alternativa 1, los lodos extraídos de las lagunas serán depositados por la draga en uno de los tachos, y llevado manualmente también hasta el tanque de almacenamiento. Para la Alternativa 2, los lodos generados en el sedimentador secundario y el UASB serán enviados en cañerías con la ayuda de bombas hasta el tanque de almacenamiento. Una vez pasados por los filtros de bandas, el líquido recuperado será enviado hacia el ecualizador para ambas alternativas, y los lodos deshidratados se recolectarán y acopiarán manualmente en el tacho de recolección para luego ser llevados hacia las pilas de estabilización. El diagrama general para ambas alternativas se detalla en la Figura 21.

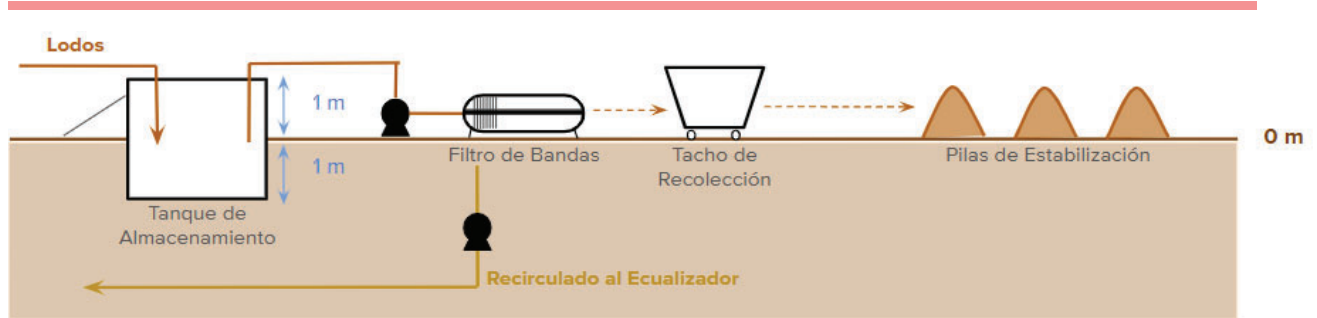


Figura 21. Esquema de niveles de enterramiento y altura sobre el terreno de las diferentes unidades de tratamiento de lodos para ambas alternativas.

IV.VIII.V Sistema de Bombeo

Para seleccionar la bomba acorde a colocar para cada conducto que va a presión, se debe conocer la altura que debe vencer esa bomba, para así poder luego calcular la potencia necesaria. Debido a que se trata de conductos llenos, la altura de la bomba está dada por la ecuación de Bernoulli:

$$H_{bomba} = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + \frac{v_B - v_A}{2g} + Z_B - Z_A + H_{fricción} \quad \text{Ecuación 74}$$

Donde,

- P_i = Presión en el punto A (el punto de ingreso a la bomba) y el punto B (el punto de egreso de la bomba). En ambos casos, ambas presiones son iguales a la atmosférica y por ende este término se cancela.
- v_i = Velocidad en el punto A (de ingreso a la bomba) y B (de egreso). Al ser iguales, este término también se cancela.
- ρ = Densidad del líquido (997 kg/m^3)
- g = Aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)
- Z_i = Altura en el punto de ingreso y egreso de la bomba (m)
- $H_{Fricción}$ = Altura de fricción generada por la pérdida de carga en conductos y accesorios.

De esta manera, al cancelarse las presiones y las velocidades, la altura de la bomba queda definida por la diferencia de altura a vencer, sumado a la altura de fricción (o pérdida de carga por fricción) de cada tramo, como se detallo en la Tabla 32.

Una vez establecida la altura de la bomba, se procede a calcular la potencia requerida por ésta según la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad \text{Ecuación 75}$$

Donde,

- H = Altura de la bomba (m)
- Q = Caudal (m³/s)
- η = Eficiencia de la bomba, la cual se asume del 50%

Los valores obtenidos para las bombas necesarias se observan en la Tabla 33, donde también se detalla el modelo y fabricante de cada bomba a comprar (identificadas con distintas denominaciones según el tramo). Para el caso del efluente industrial, se tratará de bombas sumergibles del fabricante Grundfos, mientras que para los lodos se comprarán bombas que puedan transportar caudales más pequeños, de la marca Verderflex.

Tabla 33. Parámetros, requerimientos y modelos de las bombas a instalar en el sistema de conducción.

Tramo	Bomba	Diferencia de Altura (m)	Pérdida de carga total (H _f) (m)	Altura de bomba (H _{Bomba}) (m)	Caudal (l/s)	Potencia Bomba (W)	Modelo de Bomba	Proveedor
T3B	B1	3,50	0,437	3,9	13,3	1025,7	SL1.50.65 .11.2.50B	Grundfos
T4B	B2	2,00	0,370	2,4	3,01	139,3	SEG.40.09.2.50B	Grundfos
TBL	B3	2,50	0,026	2,5	0,01	0,6	Vantage 5000	Verderflex
A1.T6B	1B4	2,10	1,801	3,9	3,06	232,9	SEG.40.09.2.50B	Grundfos
A1.T10B	1B5	0,20	0,254	0,5	1,51	13,4	SEG.40.09.2.50B	Grundfos
A1.T13B	1B6	1,50	1,457	3,0	13,3	770,4	SL1.50.65 .11.2.50B	Grundfos
A1.T14B	1B7	0,50	0,001	0,5	0,11	1,04	Vantage 5000	Verderflex
A1.T15B	1B8	1,50	0,046	1,5	0,007	0,20	Vantage 5000	Verderflex
A2.T6B	2B4	5,00	0,311	5,3	3,06	317,1	SEG.40.09.2.50B	Grundfos
A2.T9B	2B5	5,27	0,005	5,3	2,89	297,5	SEG.40.09.2.50B	Grundfos
A2.T13B	2B6	1,50	0,884	2,4	13,3	621,1	SL1.50.65 .11.2.50B	Grundfos
A2.T14B	2B7	5,00	0,018	5,0	0,015	1,48	Vantage 5000	Verderflex
A2.T15B	2B8	5,28	0,023	5,3	0,009	0,98	Vantage 5000	Verderflex
A2.T16B	2B9	0,50	0,001	0,5	0,115	1,12	Vantage 5000	Verderflex
A2.T17B	2B10	1,50	0,045	1,5	0,006	0,20	Vantage 5000	Verderflex

Las bombas SL1 de Grundfos (Anexo 2, Figura 9) son para mayores caudales, con una altura máxima de 15,8 m, un caudal máximo de 17,8 l/s, y una potencia de 1,1 kW. Las SEG de esa

misma marca (Anexo 2, Figura 10) están diseñadas para caudales más chicos, teniendo una altura máxima de 14,4 m, un caudal máximo de 4,17 l/s, y una potencia de 1,3kW. Para el transporte de lodos, con caudales más pequeños se utilizan las bombas Vantage 5000 (Anexo 2, Figura 11), las cuales tienen un caudal máximo de 0,11 l/s. Además, estas bombas también pueden utilizarse como dosificadoras y por ende serán las utilizadas para dosificar el cloro en la cámara de cloración.

CAPÍTULO V: Presupuesto Económico

El presupuesto económico incluye una descripción detallada y el cálculo de los costos asociados a la inversión inicial del proyecto (CAPEX), así como los gastos relacionados con la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes. Su objetivo principal es analizar la viabilidad económica de las distintas alternativas planteadas en el proyecto. Los costos expresados en pesos argentinos fueron convertidos a dólares oficiales utilizando el tipo de cambio minorista vendedor del Banco Central vigente en la fecha en que se elaboró el presupuesto.

V.I Inversión Inicial

La inversión inicial es el capital requerido para materializar el proyecto, abarcando todas las actividades necesarias para el desarrollo y la puesta en marcha de la planta de tratamiento de efluentes. Este monto incluye los trabajos de construcción civil, la adquisición e instalación de equipos y unidades de proceso, las cañerías, accesorios e instalaciones eléctricas, además de los costos vinculados a la mano de obra calificada y no calificada. Una estimación adecuada de esta inversión es clave para asegurar la factibilidad del proyecto, permitiendo prever recursos, reducir riesgos durante su ejecución y garantizar el cumplimiento de los plazos y estándares establecidos.

V.I.I Alternativa 1

Los costos de inversión inicial asociados a la Alternativa 1 están detallados en la Tabla 34, con valor final total de 591.733 USD. También se expresa el presupuesto en pesos argentinos, utilizando el valor del dólar oficial en Argentina a principios del mes de Febrero del año 2025, el cual corresponde a \$1.050 por dólar.

Las cotizaciones se obtuvieron de diversas fuentes confiables, destacándose Aeration Argentina S.A. y Repicky S.A. Los honorarios y costos de mano de obra se calcularon de acuerdo con los valores estimados por la Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina

(UOCRA), mientras que los costos asociados a la realización de distintos trabajos fueron proporcionados por empresas como CAEDE Arg S.A.

En cuanto a los equipos y materiales, las bombas seleccionadas son de las marcas Grundfos y Verdeflex, mientras que la mayoría de las cañerías seleccionadas son de la marca Tododren, cuyos catálogos se detallan en la Figura 12 del Anexo 2.

Tabla 34. Detalle del presupuesto asociado a la inversión inicial requerida para el diseño de la Alternativa 1.

	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total USD	Costo total ARG	Incidencia (%)
Trabajos Preliminares	Informe geotécnico del suelo	gl	1	700	700	735.000	
	Estudio de agua superficial y subterránea	gl	1	600	600	630.000	
	Subtotal				1.300	1.365.000	0,22%
Preparación del terreno	Desmote de estructuras de pretratamiento y tratamiento 1rio	m ³	50	24	1.200	1.260.000	
	Replanteo y nivelación del terreno de pretratamiento y trat 1rio	m ²	2180	10	21.800	22.890.000	
	Remoción de cobertura vegetal	m ²	1000	0,9	900	945.000	
	Alquiler de camión cisterna para disposición temporaria del efluente en lagunas	día	90	600	54.000	56.700.000	
	Instalación de obradores, cartelería, y cerco perimetral	gl	1	800	800	840.000	
	Subtotal				78.700	82.635.000	13,30%
Honorarios y mano de obra	Permiso de obra y seguros	gl	1	500	500	525.000	
	Dirección de obra	mes	6	4.000	24.000	25.200.000	
	Supervisión de obra	mes	6	3.000	18.000	18.900.000	
	15 Obreros construcción	mes	6	13.500	81.000	85.050.000	
	5 Obreros soldadores	mes	4	5.000	20.000	21.000.000	
	Servicios generales de obra y puesta en marcha	mes	6	1.100	6.600	6.930.000	
	Subtotal				150.100	157.605.000	25,37%
Excavación y movimiento de suelos	Excavación tamiz	m ³	5	21	100	104.738	
	Excavación ecualizador	m ³	116	21	2.439	2.560.904	
	Excavación IAF	m ³	3	21	63	66.150	
	Excavación pozo de bombeo	m ³	3	21	59	61.740	
	Redimensionamiento laguna anaeróbica	Unidad	1	101.000	101.000	106.050.000	

	Redimensionamiento lagunas facultativa 1	Unidad	1	10.000	10.000	10.500.000	
	Redimensionamiento lagunas facultativa 2	Unidad	1	58.300	58.300	61.215.000	
	Redimensionamiento laguna de maduración	Unidad	1	20.880	20.880	21.924.000	
	Excavación cámara de cloración	m ³	3	21	60	63.063	
	Excavación CTMyMC	m ³	0,25	21	5	5.513	
	Excavación tanque de recirculación	m ³	235	21	4.935	5.181.750	
	Excavación tanque de almacenamiento de lodos	m ³	4	21	84	88.200	
	Subtotal				197.925	207.821.057	33,45%
Pretratamiento	Herrería rejas gruesas	Unidad	1	800	800	840.000	
	Herrería rejas finas cloacal	Unidad	1	700	700	735.000	
	Herrería canastos y rastrillos	Unidad	2	400	800	840.000	
	Hormigón rejas gruesas	m ³	0,36	148	53	55.245	
	Hormigón rejas finas	m ³	0,42	148	62	65.268	
	Hormigón tamiz	m ³	2	148	296	310.800	
	Tamiz estático GEDAR GTE 1200	Unidad	1	8.100	8.100	8.505.000	
	Hormigón ecualizador	m ³	30,5	148	4.514	4.739.700	
	Difusores Repicky CB-300	Unidad	17	50	850	892.500	
	Soplador Repicky R200	Unidad	2	3.000	6.000	6.300.000	
	Subtotal				22.175	23.283.513	3,75%
Tratamiento primario	Hormigón IAF	m ³	1,8	148	264	277.389	
	Herrería barredor de grasas	Unidad	1	1.000	1.000	1.050.000	
	Difusores Repicky RG-300	Unidad	8	50	400	420.000	
	Soplador Repicky R100	Unidad	2	3.000	6.000	6.300.000	
	Hormigón pozo de bombeo	m ³	1	148	148	155.400	
	Subtotal				7.812	8.202.789	1,32%
Tratamiento secundario	Geomembranas laguna anaeróbica	m ²	5320	3	18.088	18.992.400	
	Geomembranas laguna facultativa 1	m ²	9350	3	31.790	33.379.500	
	Geomembranas laguna facultativa 2	m ²	4320	3	14.688	15.422.400	
	Antorcha laguna anaeróbica	Unidad	1	15.000	15.000	15.750.000	
	Subtotal				79.566	83.544.300	13,45%
Tratamiento terciario	Hormigón cámara de cloración	m ³	2,8	148	416	436.596	
	Instalación de CTMyMC	Unidad	1	2.100	2.100	2.205.000	
	Hormigón tanque de recirculación	m ³	36,2	148	5.358	5.625.480	

Subtotal				7.873	8.267.076	1,33%
Tratamiento de lodos	Hormigón tanque de almacenamiento	m ³	3,4	148	499	524.242
	Filtro de bandas EMO OMEGA 100000	Unidad	1	9.620	9.620	10.101.000
	Contenedor recolector 1m ³	Unidad	2	350	700	735.000
	Vehículo volteador de compost Menart SP-30	Unidad	1	12.000	12.000	12.600.000
Subtotal				22.819	23.960.242	3,86%
Sistema de conducción e impulsión	Bomba Grundfos SL1.50.65 .11.2.50B	Unidad	3	1.200	3.600	3.780.000
	Bomba Grundfos SEG.40.09.2.50B	Unidad	4	1.100	4.400	4.620.000
	Bomba Verderflex Vantage 5000	Unidad	7	800	5.600	5.880.000
	Cañería PVC Tododren 10 mm (3m)	m	7	3	21	22.050
	Cañería PVC Tododren 32 mm (3m)	m	1	6	6	6.300
	Cañería PVC Tododren 40 mm (3m)	m	1	6	6	6.300
	Cañería PVC Tododren 50 mm (21m)	m	5	63	315	330.750
	Cañería PVC Tododren 100 mm (4m)	m	72	16	1.152	1.209.600
	Cañería PVC Tododren 200 mm (3m)	m	123	47	5.781	6.070.050
	Codo de 90° Estándar	Unidad	17	12	204	214.200
	Válvula Antirretorno	Unidad	4	52	208	218.400
	Válvula de Compuerta	Unidad	1	70	70	73.500
Subtotal				21.363	22.431.150	3,61%
Infraestructura	Luminaria de caminos	gl	1500	1	1.500	1.575.000
	Provisión y Montaje de Tablero Eléctrico	Unidad	2	300	600	630.000
Subtotal				2.100	2.205.000	0,35%
TOTAL INVERSIÓN INICIAL ALTERNATIVA 1				591.733	621.320.127	100,00%

V.I.I Alternativa 2

Los costos de inversión inicial asociados a la Alternativa 2 están detallados en la Tabla 35, con valor final total de 2.985.965 USD. También se expresa el presupuesto en pesos argentinos, utilizando el mismo valor mencionado antes de \$1.050 por dólar. Las cotizaciones se obtuvieron de las mismas fuentes que para la Alternativa 1, y también se considera el uso de bombas y cañerías de las mismas marcas (aunque distintas cantidades).

Esta alternativa, además, contempla el tratamiento tercerizado del efluente que se encuentra actualmente en las lagunas. En Argentina, el precio aproximado total de transporte y

tratamiento del efluente es de 1.500 USD para un camión cisterna de 27 m³, lo que significa un precio de 55 USD por cada metro cúbico de efluente. Como se puede observar en la Tabla 35, esto representa uno de los gastos más grandes de la segunda alternativa; de hecho, representa más del 70% del presupuesto total final. Si no se considera este gasto, el presupuesto final es de 892.115 USD, por lo que continúa siendo más alto que el presupuesto de inversión inicial para la Alternativa 1.

Tabla 35. Detalle del presupuesto asociado a la inversión inicial requerida para el diseño de la Alternativa 2.

	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total		Incidencia (%)
					USD	ARG	
Trabajos Preliminares	Informe geotécnico del suelo	gl	1,0	700,0	700,0	735.000	
	Estudio de agua superficial y subterránea	gl	1,0	600,0	600,0	630.000	
	Subtotal				1.300,0	1.365.000	0,04%
Preparación del terreno	Desmante de estructuras de pretratamiento y tratamiento 1rio	m ³	50,0	24,0	1.200,0	1.260.000	
	Replanteo y nivelación del terreno	m ²	2.180,0	10,0	21.800,0	22.890.000	
	Remoción de cobertura vegetal	m ²	1.670,0	0,9	1.503,0	1.578.150	
	Tratamiento tercerizado del efluente en las lagunas	m ³	38.070,0	55,0	2.093.850,0	2.198.542.500	
	Instalación de obradores, cartelería, y cerco perimetral	gl	1,0	800,0	800,0	840.000	
	Subtotal				2.119.153,0	2.225.110.650	70,97%
Honorarios y mano de obra	Permiso de obra y seguros	gl	1,0	500,0	500,0	525.000	
	Dirección de obra	mes	6,0	4.000,0	24.000,0	25.200.000	
	Supervisión de obra	mes	6,0	3.000,0	18.000,0	18.900.000	
	15 Obreros construcción	mes	6,0	13.500,0	81.000,0	85.050.000	
	5 Obreros soldadores	mes	4,0	5.000,0	20.000,0	21.000.000	
	Servicios generales de obra y puesta en marcha	mes	6,0	1.100,0	6.600,0	6.930.000	
	Subtotal				150.100,0	157.605.000	5,03%
Excavación y movimiento de suelos	Excavación tamiz	m ³	116,1	21,0	2.439,0	2.560.904	
	Excavación ecualizador	m ³	6,6	21,0	138,6	145.530	
	Excavación IAF	m ³	2,8	21,0	63,0	66.150	
	Excavación pozo de bombeo	m ³	2,8	21,0	58,8	61.740	
	Excavación UASB	m ³	82,7	21,0	1.736,2	1.823.027	
	Excavación Lodos Activos	m ³	50,3	21,0	1.055,6	1.108.354	

	Excavación Sedimentador Secundario	m ³	62,0	21,0	1.302,0	1.367.100	
	Excavación cámara de cloración	m ³	1,2	21,0	24,5	25.710	
	Excavación tanque de recirculación	m ³	175,9	21,0	3.694,5	3.879.239	
	Excavación tanque de almacenamiento de lodos	m ³	4,0	21,0	84,0	88.200	
	Relleno y nivelación de lagunas existentes	m ³	30.070,0	20,0	601.400,0	631.470.000	
	Subtotal				611.920,5	642.516.574	20,49%
Pretratamiento	Herrería rejas gruesas	Unidad	1,0	800,0	800,0	840.000	
	Herrería rejas finas	Unidad	1,0	700,0	700,0	735.000	
	Herrería canastos y rastrillos	Unidad	2,0	400,0	800,0	840.000	
	Hormigón rejas gruesas	m ³	0,4	148,0	52,6	55.245	
	Hormigón rejas finas	m ³	0,4	148,0	62,2	65.268	
	Hormigón tamiz	m ³	0,4	148,0	52,6	55.245	
	Tamiz estático GEDAR GTE 1200	Unidad	1,0	8.100,0	8.100,0	8.505.000	
	Hormigón ecualizador	m ³	30,5	148,0	4.514,0	4.739.700	
	Difusores Repicky CB-300	Unidad	17,0	50,0	850,0	892.500	
	Soplador Repicky R200	Unidad	2,0	3.000,0	6.000,0	6.300.000	
	Subtotal				21.931,4	23.027.957	0,73%
Tratamiento primario	Hormigón IAF	m ³	30,5	148,0	4.514,0	4.739.700	
	Herrería barredor de grasas	Unidad	1,0	1.000,0	1.000,0	1.050.000	
	Contenedor recolector 1m3 (x2)	Unidad	2,0	350,0	700,0	735.000	
	Plataforma elevadora	Unidad	2,0	6.000,0	12.000,0	12.600.000	
	Difusores Repicky RG-300	Unidad	8,0	50,0	400,0	420.000	
	Soplador Repicky R100	Unidad	2,0	3.000,0	6.000,0	6.300.000	
	Hormigón pozo de bombeo	m ³	1,0	148,0	148,0	155.400	
	Subtotal				7.812,2	8.202.789	0,26%
Tratamiento secundario	Hormigón tanque UASB	m ³	19,5	148,0	2.883,1	3.027.203	
	Campana + baffles + caños distribuidores UASB de PRFV	Unidad	1,0	12.000,0	12.000,0	12.600.000	
	Hormigón lodos activos	m ³	13,8	148,0	2.049,1	2.151.533	
	Difusores Repicky RG-300	Unidad	18,0	50,0	900,0	945.000	
	Soplador Repicky R200	Unidad	2,0	3.000,0	6.000,0	6.300.000	
	Hormigón sedimentador secundario	m ³	22,0	148,0	3.256,0	3.418.800	
	Subtotal				27.088,1	28.442.536	0,91%

Tratamiento terciario	Hormigón cámara de cloración	m ³	4,4	148,0	646,0	678.321	
	Instalación de CTMyMC	Unidad	1,0	2.100,0	2.100,0	2.205.000	
	Hormigón tanque de recirculación	m ³	3,4	148,0	499,3	524.242	
	Subtotal				3.245,3	3.407.563	0,11%
Tratamiento de lodos	Hormigón tanque de almacenamiento	m ³	3,4	148,0	499,3	524.242	
	Filtro de bandas EMO OMEGA 100000	Unidad	1,0	9.620,0	9.620,0	10.101.000	
	Contenedor recolector 1m3	Unidad	2,0	350,0	700,0	735.000	
	Vehículo de volteo de pilas	Unidad	1,0	12.000,0	12.000,0	12.600.000	
	Subtotal				22.819,3	23.960.242	0,76%
Sistema de conducción e impulsión	Bomba Grundfos SL1.50.65 .11.2.50B	Unidad	3,0	1.200,0	3.600,0	3.780.000	
	Bomba Grundfos SEG.40.09.2.50B	Unidad	4,0	1.100,0	4.400,0	4.620.000	
	Bomba Verderflex Vantage 5000	Unidad	11,0	800,0	8.800,0	9.240.000	
	Cañería PVC Tododren 10 mm (3m)	m	14,0	3,0	42,0	44.100	
	Cañería PVC Tododren 32 mm (3m)	m	1,0	6,0	6,0	6.300	
	Cañería PVC Tododren 50 mm (21m)	m	0,5	63,0	31,5	33.075	
	Cañería PVC Tododren 60 mm (4m)	m	1,2	9,5	11,4	11.970	
	Cañería PVC Tododren 100 mm (4m)	m	48,0	16,0	768,0	806.400	
	Cañería PVC Tododren 150 mm (3m)	m	2,0	31,0	62,0	65.100	
	Cañería PVC Tododren 200 mm (3m)	m	4,0	47,0	188,0	197.400	
	Codo de 90° Estándar	Unidad	17,0	12,0	204,0	214.200	
	Válvula Antirretorno	Unidad	6,0	52,0	312,0	327.600	
	Válvula de Compuerta	Unidad	1,0	70,0	70,0	73.500	
	Subtotal				18.494,9	19.419.645	0,62%
Infraestructura	Luminaria de caminos	gl	1.500,0	1,0	1.500,0	1.575.000	
	Provisión y Montaje de Tablero Eléctrico	Unidad	2,0	300,0	600,0	630.000	
	Subtotal				2.100,0	2.205.000	0,07%

TOTAL INVERSIÓN INICIAL ALTERNATIVA 2**2.985.965 3.135.262.956 100,00%****V.II Costos de Operación y Mantenimiento**

Los costos de operación y mantenimiento corresponden a los gastos asociados para garantizar el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes una vez finalizada su construcción. Estos incluyen, para ambas alternativas, el consumo de energía eléctrica, los insumos químicos, la mano de obra, el análisis del efluente, y el dragado de lodos (en el caso de la Alternativa 1).

El consumo eléctrico se desglosa en tres costos: fijo, variable por potencia y variable por energía. Esta información fue obtenida de los cuadros tarifarios correspondientes a enero de 2025 del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) para medianas demandas (Tarifa T2), proporcionados por la empresa prestadora “Edenor S.A.”. Los consumos eléctricos están condicionados por los requerimientos específicos de las unidades de tratamiento.

La mano de obra se considera la misma para ambas alternativas, dado que si bien las tareas diarias serán distintas, los profesionales requeridos y los turnos de trabajo establecidos serán iguales. Lo mismo sucede con el análisis del efluente, que es análogo en ambos casos.

Sin embargo, habrá una diferencia en los insumos químicos requeridos, ya que las cantidades de hipoclorito de sodio para la cámara cloración serán distintas, y que la Alternativa 2 requiere también de un coagulante y un floculante. Por otro lado, en el caso de la Alternativa 2 no existe un costo adicional de tratamiento de lodos, pero sí en la 1, dado que cada 5 años se deberá alquilar una draga para retirar los lodos acumulados en las lagunas y poder tratarlos en la planta.

V.II.I Alternativa 1

El consumo eléctrico asociado a la operación de esta alternativa se debe a la operación de los equipos detallados en la Tabla 36. Allí se observa, para cada equipo, la potencia instalada y el consumo eléctrico mensual que surge de su operación. También se detalla el valor total de potencia instalada y de consumo de energía.

Tabla 36. Detalle de los equipos que consumen energía eléctrica en la Alternativa 1.

Equipo	Cantidad	Potencia Eléctrica (kW)	Consumo Eléctrico (kWh/mes)
--------	----------	----------------------------	--------------------------------

Soplador Repicky R200	1	5,89	4240,8
Soplador Repicky R100	1	1,19	856,8
Barredor Superficial IAF	1	0,8	576
Filtro de bandas	1	1	150
Bomba SL1.50.65 .11.2.50B	2	1,6	2304
Bomba SEG.40.09.2.50B	3	1,3	2808
Bomba Vantage 5000	4	0,9	1944
Luminaria	15	0,03	324
Total requerido		12,71	13203,6

El detalle completo de los costos de operación y mantenimiento mensual de la planta de tratamiento se observa en la Tabla 37, donde, además del costo energético, se incluyen los de mano de obra, los insumos químicos (que en el caso de la Alternativa 1 consta únicamente de hipoclorito de sodio para la cámara de cloración), los costos de combustible, y los gastos de analizar de manera tercerizada el efluente dos veces al mes. Además, también se incluye el costo de alquilar una draga cada 5 años para remover el lodo acumulado en las lagunas. Para realizar esta estimación y considerar este costo, se dividió el precio del alquiler de la draga (20.000 USD) entre los 60 meses que transcurren entre un alquiler y el otro.

Tabla 37. Detalle del presupuesto asociado a un mes de operación y mantenimiento de la Alternativa 1.

Descripción		Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total USD	Costo total ARG	Incidencia (%)
Consumo energético	Costo fijo	Unidad	1,00	48,44	48,44	50.862	
	Costo variable por potencia	kW	12,71	10,72	136,25	143.064	
	Costo variable por energía	kWh	13.203,60	0,13	1.716,47	1.802.291	
	Subtotal				1.901,16	1.996.217	20,11%
Insumos químicos	Hipoclorito de sodio	kg	14,70	0,90	13,23	13.892	
	Subtotal				13,23	13.892	0,14%
Lodos de lagunas	Alquiler de draga	Unidad	1,00	20.000,00	333,33	350.000	
	Subtotal				333,33	350.000	3,53%
Costos combustible Diesel	Vehículo volteador de pilas	Litros	150,00	1,22	183,00	192.150	
	Plataforma elevadora	Litros	60,00	1,22	73,20	76.860	
	Subtotal				256,20	269.010	2,71%
Mano de obra	Operador de planta	Unidad	4,00	850,00	3.400,00	3.570.000	
	Supervisor de planta	Unidad	1,00	950,00	950,00	997.500	
	Ing. Ambiental	Unidad	1,00	1.400,00	1.400,00	1.470.000	
	Lic. en Seguridad e Higiene	Unidad	1,00	1.100,00	1.100,00	1.155.000	

Subtotal					6.850,00	7.192.500	72,46%
Laboratorio	Análisis de Efluente	Unidad	2,00	50,00	100,00	105.000	
Subtotal					100,00	105.000	1,06%
TOTAL MENSUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 1					9.453,92	9.926.619	100,00%

V.II.II Alternativa 2

De igual manera que se hizo para la Alternativa 1, la Tabla 38 muestra el consumo eléctrico asociado a la Alternativa 2.

Tabla 38. Detalle de los equipos que consumen energía eléctrica en la Alternativa 2.

Equipo	Cantidad	Potencia Eléctrica (kW)	Consumo Eléctrico (kWh/mes)
Soplador Repicky R200	1	5,89	4240,8
Soplador Repicky R100 IAF	1	1,19	856,8
Soplador Repicky R100 Lodos	1	2,01	1447,2
Barredor Superficial IAF	1	0,8	576
Filtro de bandas	1	1	150
Bomba SL1.50.65 .11.2.50B	2	1,6	2304
Bomba SEG.40.09.2.50B	3	1,3	2808
Bomba Vantage 5000	6	0,9	2916
Luminaria	10	0,03	216
Total requerido		14,72	15514,8

El detalle completo de los costos de operación y mantenimiento mensual de la planta de tratamiento se observa en la Tabla 39, donde se incluyen los mismos costos mencionados en la Alternativa 1. La mayor diferencia en este caso estará en los insumos químicos, ya que la Alternativa 2 requiere de coagulante y floculante, y en que en este caso no se requerirá del alquiler de la draga cada 5 años.

Tabla 39. Detalle del presupuesto asociado a un mes de operación y mantenimiento de la Alternativa 2.

	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total		Incidencia (%)
					USD	ARG	
Consumo energético	Costo fijo	Unidad	1,00	48,44	48,44	50.862	
	Costo variable por potencia	kW	14,72	10,72	157,80	165.688	
	Costo variable por energía	kWh	15.514,80	0,13	2.016,92	2.117.770	
	Subtotal				2.223,16	2.334.321	23,36%
Insumos químicos	Hipoclorito de sodio	kg	55,80	0,90	50,22	52.731	

	PAC	kg	48,00	0,50	24,00	25.200	
	Cal	kg	60,00	0,21	12,60	13.230	
	Subtotal				86,82	91.161	0,91%
Costos combustible Diesel	Vehículo volteador de pilas	Litros	150,00	1,22	183,00	192.150	
	Plataforma elevadora	Litros	60,00	1,22	73,20	76.860	
	Subtotal				256,20	269.010	2,69%
Mano de obra	Operador de planta	Unidad	4,00	850,00	3.400,00	3.570.000	
	Supervisor de planta	Unidad	1,00	950,00	950,00	997.500	
	Ing. Ambiental	Unidad	1,00	1.400,00	1.400,00	1.470.000	
	Lic. en Seguridad e Higiene	Unidad	1,00	1.100,00	1.100,00	1.155.000	
	Subtotal				6.850,00	7.192.500	71,98%
Laboratorio	Análisis de Efluente	Unidad	2,00	50,00	100,00	105.000	
	Subtotal				100,00	105.000	1,05%
TOTAL MENSUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 1					9.516,18	9.991.992	100,00%

V.III Análisis de Factibilidad

El análisis de factibilidad tiene como finalidad evaluar los beneficios económicos de implementar una planta de tratamiento de efluentes en comparación con la opción de enviar los efluentes líquidos a disposición final mediante servicios de tercerización. Para el cálculo de los costos asociados a la terciarización del tratamiento del efluente industrial, se utilizaron valores proporcionados por una empresa reconocida en la región donde se llevará a cabo el proyecto.

El estudio considera tres alternativas: tercerizar el tratamiento del efluente, realizar la refacción de las lagunas de tratamiento existentes (Alternativa 1) o clausurar las lagunas y optar por un sistema compuesto por un reactor UASB seguido por un tratamiento de lodos activos (Alternativa 2). Los costos evaluados abarcan tanto la inversión inicial como los gastos de operación y mantenimiento mensuales. Se ha proyectado un horizonte de 30 años para el análisis, ya que este periodo se considera como la vida útil típica de proyectos de este tipo. La Tabla 40 detalla los costos totales en dólares, así como un indicador del costo por metro cúbico de efluente tratado para cada una de las tres alternativas.

Los resultados muestran que el tratamiento del efluente de manera tercerizada es la opción menos económica, y por ende es conveniente reformar la planta de tratamiento actual. Dentro de esta opción, la alternativa más viable económicamente es la Alternativa 1, lo que se condiciona con lo mencionado en las dos secciones anteriores, donde la Alternativa 1 presenta

un costo de inversión inicial y un costo de operación y mantenimiento menores que la Alternativa 2.

Tabla 40. Análisis de factibilidad para las tres alternativas.

Alternativa	Costo total a 30 años (USD)	Costo por m ² tratado (USD/m ³)
Terciarización del efluente	156.816.000	55,00
Alternativa 1	4.006.587	1,41
Alternativa 2	6.427.212	2,25

Selección de Alternativa

Similar a lo que se realizó en la sección III.VII, este apartado compara ambas alternativas, pero esta vez haciendo un análisis cuantitativo en lugar de cualitativo, teniendo en cuenta todos los valores obtenidos en los capítulos anteriores. La Tabla 41 muestra los valores numéricos de los parámetros utilizados para realizar la comparación.

Como se mencionó con anterioridad, es relevante resaltar que ambas alternativas presentan altos porcentajes de remoción de DQO, DBO, SST, y nutrientes, y que ambas cumplen con la normativa de vuelco. Para poder hacer el análisis, se le asignó color verde a la alternativa que presente una ventaja en comparación con la otra alternativa (marcada en rojo) para cada parámetro en específico. Pero además, cada ventaja fue asignada con un valor numérico (1, 2 o 3) que corresponde con el grado o relevancia de esa ventaja con respecto a la otra alternativa.

Por ejemplo, si bien la Alternativa 2 presenta mayores porcentajes de remoción de DQO, DBO, SST y fósforo, para todos estos casos se le asignó el número 1 dado que la Alternativa 1 también presenta altos valores de remoción. En el caso del espacio ocupado, si bien el de la Alternativa 1 es mucho mayor, también se le asignó el valor de relevancia mínimo (1), dado que la planta ya cuenta actualmente con ese espacio, y no supondría ninguna desventaja sacarle provecho.

Por otro lado, una menor generación de lodos y un menor consumo energético tienen una relevancia un cuanto mayor, y por eso se les asigna el valor 2. Finalmente, la mayor ventaja (destacada con el valor 3) la presenta la Alternativa 1 con el costo de inversión inicial, dado que es significativamente menor.

Al sumar los valores numéricos de todas las características, la alternativa que presenta mayor puntaje total es, por ende, la más conveniente. Como se observa en la tabla, al igual que en el análisis cualitativo, la alternativa que presenta mayores ventajas es la Alternativa 1, y por ende la que se considera más conveniente para este proyecto y para la que se realizará el desarrollo de planos de construcción.

Tabla 41. Análisis comparativo cuantitativo entre las dos alternativas propuestas para el tratamiento secundario.

Alternativa 1: Refacción de lagunas		Parámetros	Alternativa 2: UASB + Lodos Activos	
	95,4	Remoción de DQO (%)	96,8	1

	98,7	Remoción de DBO (%)	99,0	1
	99,0	Remoción de SST (%)	99,8	1
1	97,0	Remoción de Nitrógeno (%)	91,0	
	97,2	Remoción de Fósforo (%)	99,0	1
2	9,15	Generación de lodos (m ³ /d)	9,92	
	25.830	Espacio Ocupado (m ²)	1.670	1
2	13.203,6	Consumo Energético (kWh/mes)	15.514,8	
3	603.175	Costo de inversión inicial (USD)	3.001.386	
1	9.453,92	Costo de mantenimiento (USD/mes)	9.516,18	
9		Puntaje Total		5

CAPÍTULO VI: Planos

A continuación, se presenta el listado de los planos de las unidades operativas correspondientes a la planta de tratamiento de efluentes líquidos del matadero en cuestión. En el Capítulo IV de Memoria de Cálculo se detallan las dimensiones específicas de cada unidad para ambas alternativas, aunque es importante tener en cuenta que los planos fueron realizados únicamente para la Alternativa 1, dado que es la seleccionada para este proyecto.

Cabe destacar que las unidades compradas llave en mano como el tamiz estático y el filtro de bandas no presentan detalles en los planos. Los planos realizados incluyen representaciones de cada unidad de proceso diseñada, así como una vista superior de la planta en su conjunto. Estos tienen un carácter ilustrativo ya que los accesorios y conducciones también adquiridas mediante terceros pueden sufrir modificaciones a la hora de llevar a cabo la construcción e instalación. Los planos confeccionados se encuentran en el Anexo 3 en el siguiente orden:

- **Plano 1.A:** Sistema de Rejas para el efluente industrial
- **Plano 1.B:** Sistema de Rejas para el efluente cloacal
- **Plano 2:** Ecualizador
- **Plano 3:** Sistema de Flotación por Aire Inducido
- **Plano 4:** Pozo de Bombeo
- **Plano 5:** Laguna Anaeróbica
- **Plano 6:** Laguna Facultativa 1
- **Plano 7:** Laguna Facultativa 2
- **Plano 8:** Laguna de Maduración
- **Plano 9:** Cámara de Cloración
- **Plano 10:** Tanque de Recirculación
- **Plano 11:** Vista Superior PTEL

CAPÍTULO VII: Conclusiones

En el presente proyecto se logró elaborar un plan de optimización y mejora del sistema de tratamiento de efluentes del matadero y frigorífico de Bragado, en Buenos Aires, Argentina, el cual presentaba un tratamiento sumamente defectuoso. Mediante una revisión bibliográfica se llevó a cabo la caracterización del efluente, identificando aquellos contaminantes que no cumplen con las regulaciones aplicables. Asimismo, a través del análisis de la operación de las instalaciones se determinó el caudal de efluentes líquidos generados durante el proceso productivo.

A partir de esta caracterización, se plantearon dos alternativas para el rediseño de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, ambas cumpliendo con los límites legales de vuelco establecidos por la normativa vigente. La primera alternativa propone desestimar por completo el sistema de pretratamiento y tratamiento primario actual, incorporando nuevas unidades para estos procesos, y realizar modificaciones sobre el sistema de lagunas existente, aprovechando el espacio disponible y reduciendo costos. La segunda alternativa plantea la construcción de un nuevo sistema de tratamiento desde cero, cerrando las lagunas actuales y reemplazándolas por un sistema compuesto por un reactor UASB seguido de lodos activos, lo que permitiría un proceso más compacto y eficiente, reduciendo el espacio total requerido para la planta.

Para ambas alternativas se elaboró la memoria descriptiva de las unidades, la memoria de cálculo y la evaluación de costos, considerando tanto la inversión inicial como los costos de operación y mantenimiento. A partir de un análisis detallado de distintos criterios, como la eficiencia en la remoción de contaminantes, la generación de lodos, el espacio requerido, el consumo energético y los costos asociados, se determinó que la Alternativa 1 es la más conveniente para el proyecto.

Esta alternativa fue seleccionada debido a su eficacia en la remoción de contaminantes y su menor costo de inversión inicial, así como por sus reducidos costos operativos y de mantenimiento. El diseño final contempla un pretratamiento compuesto por rejillas, tamiz y un ecualizador, seguido de un tratamiento primario conformado por un sistema de flotación por aire inducido (IAF). Luego, mediante un pozo de bombeo, el efluente es enviado al tratamiento secundario, el cual consiste en una laguna anaeróbica, dos lagunas facultativas y una laguna de maduración. En la etapa final, el efluente tratado puede infiltrarse en el suelo, evaporarse, o ser recirculado para su reutilización en la limpieza de corrales, caminos y camiones. Esta estrategia

no solo permite reducir la huella hídrica del establecimiento y su impacto ambiental, sino que también contribuye a disminuir los costos asociados al consumo de agua, un recurso de alta demanda en esta industria.

Es imperativo abordar de manera efectiva el impacto ambiental generado por los efluentes de la industria cárnica. Se requieren sistemas de tratamiento de aguas residuales más eficientes y sostenibles, que permitan la reducción de contaminantes y la reutilización del agua en los procesos productivos, objetivo que se logra con este proyecto.

En Argentina, existen regulaciones específicas para el tratamiento de efluentes en la industria cárnica, sin embargo, su implementación y cumplimiento varían entre los diferentes establecimientos. Un claro ejemplo de ello es el caso de este matadero, que fue sancionado con una multa de 200.000 pesos (aproximadamente 200 dólares), un monto considerablemente menor al valor estimado en este proyecto para la refacción del sistema de tratamiento. Esta situación evidencia que muchas industrias prefieren asumir el costo de las sanciones antes que invertir en la adecuación de sus instalaciones, perpetuando así el daño ambiental.

Para revertir esta problemática, es fundamental fortalecer la supervisión y el control por parte de las autoridades ambientales, garantizando el cumplimiento efectivo de la normativa vigente. Además, resulta clave promover la concientización y la capacitación en buenas prácticas ambientales dentro del sector de los mataderos y frigoríficos. Estas medidas contribuirán a asegurar un adecuado tratamiento de los efluentes y a mitigar su impacto ambiental negativo, fomentando una industria más responsable y sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

Agrositio. (2019, 26 julio). *Renuevan inversión para las obras de frigorífico y matadero de bragado.*

<https://www.agrositio.com.ar/noticia/205244-renuevan-inversion-para-las-obras-de-frigorifico-y-matadero-de-bragado.html>

Arena, A. N., Liberal, & Cuevas, C. (2005). EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES EN UN SISTEMA UASB Y LAGUNAS DE MADURACIÓN. Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente, 9(ISSN 0329-5184). https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/82105/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bavera, G. A. (2008, 4 abril). ORIGEN Y EVOLUCION DE LA PRODUCCION BOVINA EN LA REPUBLICA ARGENTINA. Red Alimentaria. https://www.redalimentaria.com/blog/origen-y-evolucion-de-la-produccion-bovina-en-la-republica-argentina_5059#:~:text=Posteriormente%2C%20en%201570%2C%20Felipe%20de.en%20el%20actual%20territorio%20argentino

Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2015). *Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances.* Journal of Environmental Management, 161, 287-302.

Cárcel Carrasco, F. J. , & Grau Carrión, J. (2014). EL USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA INDUSTRIA CÁRNICA. 3C Tecnología, Vol.3 – No 4 (Edición núm. 11), ISSN: 2254 – 41433.

CARVAJAL MUÑOZ, S. (2016). EVALUACIÓN Y MODELACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE DBO Y SST EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FE DE ANTIOQUIA [Trabajo de grado para la obtener el título de: INGENIERO AMBIENTAL, TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA INSTITUCION UNIVERSITARIA]. <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tda/222/Trabajo%20de%20grado%20-%20Santiago%20Carvajal%20Mu%C3%B1oz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Casallo Ibarra, J. A. (2015). EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN UN REACTOR AEROBIO DE LODOS ACTIVADOS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL COLECTOR DANIEL ALCIDES CARRIÓN - HUANCAYO [Tesis, Universidad Alas Peruanas]. https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12990/1180/Tesis_remoci%C3%B3n_nitr%C3%B3geno%20y%20f%C3%B3sforo_reactor%20aerobio_lodos%20activados_aguas%20residuales%20urbanas_colector_%20Huancayo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cominiello, S. (2020, 26 marzo). *Cuando las vaquitas no son ajenas - Razón y revolución. Razón y Revolución - Organización política*.
<https://razonyrevolucion.org/cuando-las-vaquitas-no-son-ajenas/>

Cun Jaramillo, M. L., & Álvarez Díaz, C. A. (2017). *Estudio de impacto ambiental de un matadero municipal urbano en la provincia de El Oro*. Ecuador. Revista Científica Agroecosistemas, 5(1-Ext), 160-168. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

Eckenfelder, W. W. (2000). *Industrial water pollution control* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Econsult. (s. f.). *Estudio de Impacto Ambiental Campo y Faena S.A.*
https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/PCAbstract/PC_Resumen%20EIA%20-%20Campo%20y%20Faena.pdf

Ecopreneur. (2023, 14 agosto). *Secado de lodos: qué otras tecnologías de deshidratación existen - Segunda parte*. LinkedIn.
<https://www.linkedin.com/pulse/secado-de-lodos-qu%C3%A9-otras-tecnolog%C3%ADas-deshidrataci%C3%B3n-existen/>

EMO (s.f.) Filtro de Banda OMEGA 100000. Recuperado de:
https://www.emo-france.com/wp-content/uploads/2014/07/DP_06-Filtro-Banda-OMEGA-100000_d_ES.pdf

Fabregas, J. (2023, 10 Julio). *Tratamiento de aguas residuales de matadero y producción de carne*. Sigmadaf. <https://sigmadafclarifiers.com/aguas-residuales-de-matadero/#2>

Fernández, F. J. (2021). PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DEL FRIGORÍFICO ALBERDI S.A EN LA CIUDAD DE ORO VERDE, ENTRE RÍOS, ARGENTINA [Trabajo Final para Maestría]. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL.

Galotti, P., & Santalla, E. (2009). ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 13(ISSN 0329-5184).

Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). REVISIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE REACTORES UASB EN COCHABAMBA-BOLIVIA COMPARADAS CON LAS DE LATINOAMÉRICA, INDIA Y EUROPA. INVESTIGACIÓN & DESARROLLO, 1.
http://www.scielo.org.bo/pdf/riyd/v1n17/v1n17_a08.pdf

GEDAR. (s.f.). Tamices estáticos. Recuperado de
<https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Tamices-Estaticos.pdf>

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. (2022). Resolución firma conjunta: Multa empresa COOPERATIVA DE TRABAJO FRIGORIFICO Y MATADERO BRAGADO (Expte. N° 2436 30350 2018 0 1).

Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (s. f.). *Cuenca del Río Salado*. https://www.gba.gob.ar/hidraulica/interior_bonaerense/cuenca_salado

Hardy, R. (s. f.). Frigorífico La Elisa. <https://www.fototecasannicolas.org/index.php/Detail/objects/4391>

Hidalgo Ruiz, J. F. (2015). DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PRIMARIO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA CURTIEMBRE CON BASE EN LA FLOTACIÓN CON AIRE INDUCIDO (IAF) EN UN CLARIFICADOR DE PLATOS INCLINADOS [Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11363/1/CD-6448.pdf>

Hidrometalica. (s. f.). *Tamiz estático*. <https://www.hidrometalica.com/tamiz-estatico/>

Jamali, G. A., Kandhar, I. A., Memon, S. A., & Saeed, S. (2023). *Decomposition of Wastewater Pollutants through Natural Oxidation and Air Induced Oxidation Process*. Journal Of Pollution Effects And Control, 11(1000358). <https://www.longdom.org/open-access/decomposition-of-wastewater-pollutants-through-natural-oxidation-and-air-induced-oxidation-process-99463.html#6>

JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS. (2012, 28 marzo). Resolución 607 / 2012. Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-607-2012-195663>

La Nación. (2023, mayo 24). *En la Argentina la carne está un 6% más cara que en el mayor exportador del mundo*. LA NACION. <https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/en-la-argentina-la-carne-esta-un-6-mas-cara-que-e-n-el-mayor-exportador-del-mundo-nid24052023/#:~:text=Brasil%20es%20el%20mayor%20exportador,millones%20de%20toneladas%20en%202022>

Llc, E. (s. f.). *Cooperativa de Trabajo Frigorífico y Matadero Bragado Ltda*. La Guia Online. <https://laguia.online/businesses/cooperativa-de-trabajo-frigorifico-y-matadero-bragado-ltda>

López Navajas, R. (2015). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN UNA INDUSTRIA CÁRNICA [Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial]. Universidad Carlos III de Madrid.

McCabe, W.L., Smith, J.C. y Harriott, P. (1998). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Madrid: McGraw-Hill. <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/14698.pdf>

Marín Ocampo, A., & Osés Pérez, M. (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el procesos de lodos activados*. Tomo I. Comisión Estatal de Agua de Jalisco. Jalisco: Dirección de operaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales.

From
https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/03/OperacionMantenimientoPTAR_LodosActivados_CEAJalisco_T1.pdf

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). *A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products*. *Ecosystems*, 15: 401–415.

Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.

Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación. (2018, septiembre). *Sector cárnico en Argentina - Calidad de la carne y oportunidades comerciales*.

Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, Subsecretaría de Recursos Hídricos, & Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (2021). *EVALUACION DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL: “SISTEMA DE DESAGÜES CLOACALES EN LA LOCALIDAD DE O’BRIEN”*.

Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos & Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (s. f.). *Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas-Ambientales de la Provincia de Buenos Aires* (1.a ed.) [PDF].

Moncayo Bedoya, M. (2006). BASES DOCUMENTALES PARA EL DISEÑO DEL CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURAS Y DE SALUD OCUPACIONAL EN LA CENTRAL DE SACRIFICIO FRIGOCAFE S.A. UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍAS.

Municipio de Bragado. (2023, 1 febrero). Argentina.gob.ar.
<https://www.argentina.gob.ar/buenosaires/bragado#:~:text=Partido%3A%20Bragado.,Fern%C3%A1ndez%2C%20La%20Limpia%20y%20Asamblea>.

Muñoz, D. (2005). SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MATADERO: PARA UNA POBLACIÓN MENOR 2000 HABITANTES. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 3(1).

ORJUELA MONTOYA, E., & CHARRY AGUDELO, M. (2019). ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE REMOCIÓN (K), EN LAGUNAS FACULTATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA [Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Recursos Hídricos, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA].
<https://core.ac.uk/download/pdf/225146725.pdf>

Ramalho, R. S. (2003). *Introduction to wastewater treatment processes (Revised edition)*. Academic Press.

Ramirez Gastulo, J. A. (2017). PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS RESIDUALES GENERADOS EN EL MATADERO DISTRITAL DE PÁTAPO PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL [TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL]. UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO.

Repicky (s.f.). Sistemas de Aireación para Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales y Cloacales. Recuperado de:
<https://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>

Repicky (s.f.). Sopladores de Aire y Bombas de Vacío de Lóbulos Rotativos. Recuperado de:
<https://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sopladores-y-Bombas-RA-Repicky.pdf>

Reutelshöfer, T., SENASBA, AAPS, & Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2015). *Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Calidad de Agua*.
https://periaqua.weebly.com/uploads/8/9/3/5/89354334/guia_o_y_m_ptar.pdf

Sela, G. (2023, 3 agosto). LODOS ACTIVADOS - PARÁMETROS DE CONTROL. Cropaia.
<https://croipaia.com/es/blog/lodos-activados-parametros-de-control/>

U.S. EPA. (2002). Wastewater Technology Fact Sheet: Facultative Lagoons. United States Environmental Protection Agency.
<https://docslib.org/doc/7801747/wastewater-technology-fact-sheet-facultative-lagoons>

Vázquez, F. (s. f.). *Lagunas de Estabilización*. EXTENSIONISMO, INNOVACIÓN y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA - CLAVES PARA EL DESARROLLO, 3, 148.

Veall, F. (1993). *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*: ESTUDIO FAO PRODUCCION Y SANIDAD ANIMAL 97 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & FAO, Eds.; Vol. 97). FAO.
<https://www.fao.org/3/T0566s/T0566S00.htm#TOC>

ANEXOS

Anexo 1 - Capítulo II: Marco Teórico

Tabla 1. Marco legal de leyes nacionales y provinciales, junto con ordenanzas municipales de Bragado, aplicables al proyecto.

Legislación Nacional	
Norma	Detalle
Decreto n° 4238/68. Reglamento de inspección de productos, subproductos y derivados de origen animal	Exige que se cumpla con las condiciones higiénico-sanitarias establecidas por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).
Ley 2.797/1891	Establece restricciones al volcado a los ríos de la República Argentina de aguas cloacales y residuos industriales
Ley 4.198/1903	Establece medidas para prevenir la contaminación del agua del Río de la Plata
Ley 20.418/1973	Establece tolerancias y límites administrativas para residuos de plaguicidas en productos y subproductos de agricultura y ganadería
Constitución Nacional Art. 41	Reconoce el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano.
Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos	Regula la gestión de residuos peligrosos, aplicable a los subproductos y lodos generados en el tratamiento de efluentes, que deben gestionarse de forma segura y controlada.
Ley 25.675. Ley General del Ambiente	Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y la protección de la diversidad biológica, y la implementación del desarrollo sustentable.
Ley 25.688. Ley de Gestión de Aguas	Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
Ley 25.612. Ley de Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicio	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional, y sean derivados de procesos industriales y

	de actividades de servicios.
Resolución 410/18	Establece el manejo sustentable de barros y biosólidos.
Legislación Provincial de Buenos Aires	
Resolución de parámetros de descarga admisibles N° 336-03. Autoridad del Agua	Establece los parámetros de calidad de las descargas de los límites admisibles según el destino de vuelco.
Ley 5.965. Ley de Protección de Aguas	Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera.
Ley 11.720. Ley de Residuos Especiales	Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos especiales.
Ley 11.723 de Protección Ambiental de la Provincia de Buenos Aires	Establece lineamientos para la protección de los recursos hídricos y el control de efluentes industriales, promoviendo prácticas sustentables en el uso del agua.
Ley 11.459	Ley de radicación industrial PBA - Obtención del Certificado de Aptitud Ambiental cada 4 años
Resolución 599/19	Obtención, renovación y modificaciones de LEGA.
Resolución 42/96. Reglamento Técnico del Uso de Recursos Hídricos y Vertidos	Regula la calidad de efluentes para su reutilización o descarga, así como las especificaciones técnicas de los procesos de tratamiento en la Provincia de Buenos Aires.
Legislación Municipal del Partido de Bragado	
Decreto 2.150. Código de Ordenamiento Territorial Urbano Ambiental de la Municipalidad de Bragado	Define áreas industriales y las condiciones para la instalación de plantas de tratamiento, considerando la cercanía de cuerpos de agua y la preservación ambiental.

Anexo 2 - Capítulo IV: Memoria de Cálculo

Tamiz

	CAUDAL DE AGUA (m ³ /h)						
	LUZ DE PASO DE MALLA (mm)						
MODELO	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1.5	2
GTE 300	9	18	22	27	37	42	45
GTE 500	13	29	39	40	56	62	67
GTE 600	18	36	45	54	75	83	90
GTE 800	21	48	60	72	99	110	120
GTE 1000	25	60	75	90	125	138	150
GTE 1200	30	75	92	112	152	169	185
GTE 1500	36	90	110	135	180	200	220
GTE 2000	49	120	150	180	250	275	300

Figura 1. Modelos de Tamices Rotativos - El tamiz seleccionado está marcado por un círculo colorado.

Fuente: Catálogo del Fabricante GEDAR.

Ecualizador

Tabla 1. Parámetros de diseño para el ecualizador en el pretratamiento del efluente industrial. En la primera columna en verde se enmarca el horario laboral. En la última columna se enmarcan la desviación negativa máxima (en rojo), y la desviación positiva máxima (en verde) del volumen acumulado a la salida del ecualizador.

Horario	Periodo de tiempo - p/t	Caudal (m ³ /h)	V medio de ingreso (m ³)	V acumulado por p/t (m ³)	Q salida (m ³ /hora)	V de salida por p/t (m ³)	V acumulado de salida por p/t (m ³)	ΔV (m ³)
0:00 - 1:00	1	0	0	0	10,83	10,83	10,83	-10,83
1:00 - 2:00	2	0	0	0	10,83	10,83	21,66	-21,66
2:00 - 3:00	3	0	0	0	10,83	10,83	32,49	-32,49
3:00 - 4:00	4	0	0	0	10,83	10,83	43,32	-43,32
4:00 - 5:00	5	0	0	0	10,83	10,83	54,15	-54,15
5:00 - 6:00	6	0	0	0	10,83	10,83	64,98	-64,98
6:00 - 7:00	7	0	0	0	10,83	10,83	75,81	-75,81
7:00 - 8:00	8	38	38	38	10,83	10,83	86,64	-48,64

8:00 - 9:00	9	21	21	59	10,83	10,83	97,47	-38,47
9:00 - 10:00	10	21	21	80	10,83	10,83	108,29	-28,29
10:00 - 11:00	11	18	18	98	10,83	10,83	119,12	-21,12
11:00 - 12:00	12	0	0	98	10,83	10,83	129,95	-31,95
12:00 - 13:00	13	28	28	126	10,83	10,83	140,78	-14,78
13:00 - 14:00	14	32	32	158	10,83	10,83	151,61	6,39
14:00 - 15:00	15	27	27	185	10,83	10,83	162,44	22,56
15:00 - 16:00	16	27	27	212	10,83	10,83	173,27	38,73
16:00 - 17:00	17	48	48	260	10,83	10,83	184,10	75,90
17:00 - 18:00	18	0	0	260	10,83	10,83	194,93	65,07
18:00 - 19:00	19	0	0	260	10,83	10,83	205,76	54,24
19:00 - 20:00	20	0	0	260	10,83	10,83	216,59	43,41
20:00 - 21:00	21	0	0	260	10,83	10,83	227,42	32,58
21:00 - 22:00	22	0	0	260	10,83	10,83	238,25	21,75
22:00 - 23:00	23	0	0	260	10,83	10,83	249,08	10,92
23:00 - 00:00	24	0	0	260	10,83	10,83	259,91	0,09

Difusor de burbuja gruesa | CB-300

Rango de caudal: 3 a 25 Nm³/hora

Caudal de diseño: 10 Nm³/hora

Pérdida de carga: 20 mbar para 3 Nm³/hora
40 mbar para 10 Nm³/hora
70 mbar para 25 Nm³/hora

Densidad: 0,5 a 3 difusores/m²

SOTE: 5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m³/h de aire y por m de profundidad.

Eficiencia de transferencia de O₂: 0,8 – 2 Kg. O₂/KWh

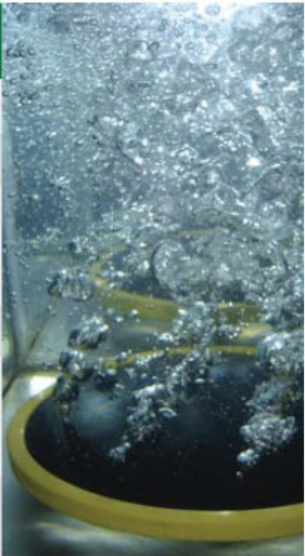


Figura 2. Modelos de Difusores de Burbuja Gruesa. Fuente: Catálogo del Fabricante Repicky.

$\Delta p(\text{mbar})$		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
Modelo	RPM	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	Q m ³ /h	P HP	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						
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				
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				
R500	1450	342	1,9	328	3,2	318	4,7	309	6,0	301	7,4	293	8,7	286	10,2						
	2250	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		
	2900	721	4,2	704	6,8	691	9,8	680	12,8	670	15,8	661	18,8	652	21,8	644	24,8	637	27,8		

Figura 3. Modelos de Sopladores para los difusores de Burbuja Gruesa y Fina - el soplador utilizado en el ecualizador está marcado en rojo, el utilizado en el sistema IAF en verde, y el utilizado en el sistema de lodos activos en amarillo. Fuente: Catálogo del Fabricante Repicky.

Sistema de Flotación

Difusor de burbuja fina | RG-300

Rango de caudal: 2 a 8 Nm³/hora

Caudal de diseño: 5 Nm³/hora

Pérdida de carga: 20 mbar para 2 Nm³/hora
40 mbar para 5 Nm³/hora
70 mbar para 8 Nm³/hora

Densidad: 1 a 6 difusores/m²

SOTE: 15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m³/h de aire y por m de profundidad.

Eficiencia de transferencia de O₂: 2,5 – 6 Kg. O₂/KWh



Figura 4. Modelos de Difusores de Burbuja Fina. Fuente: Catálogo del Fabricante Repicky.

Reactor UASB

Tabla 2. Tiempos de retención hidráulica en función de la temperatura del efluente para el caudal medio y el caudal máximo. Fuente: Cátedra de Diseño de Sistemas de Tratamientos Biológicos 2021, UNSAM.

Temperatura del Efluente (°C)	Tiempo de retención hidráulica (h)	
	Q medio	Q máximo
15 a 18	≥ 10	≥ 7
18 a 22	≥ 8	$\geq 5,5$
22 a 25	≥ 7	$\geq 4,5$
> 25	≥ 6	≥ 4

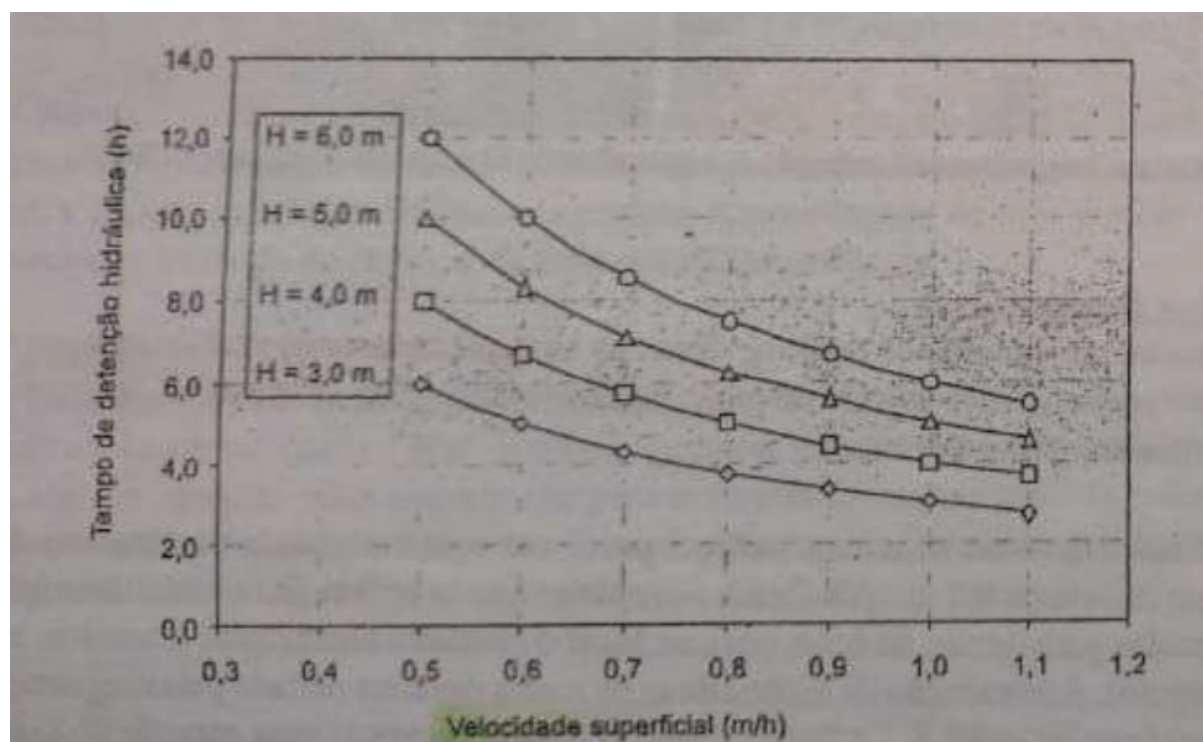


Figura 5. Relación entre la velocidad de ascenso y el tiempo de retención hidráulica para diferentes alturas del reactor. Fuente: Cátedra de Diseño de Sistemas de Tratamientos Biológicos 2021, UNSAM.

Tabla 3. Directrices preliminares para la determinación del área de influencia de los distribuidores en función de la carga orgánica aplicada y el tipo de lodo. Fuente: Lettinga & Hulshoff Poll, 1995 - Cátedra de Diseño de Sistemas de Tratamientos Biológicos 2021, UNSAM

Tipo de lodo	Carga Orgánica Aplicada (kgDQO/m ³ .d)	Área de influencia de cada distribuidor (m ²)
Denso y floculento	< 1	0,5 a 1,0

(concentración > 40 kgSST/m ³)	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 2,0	2,0 a 3,0
Medianamente denso y floculento (concentración 20 a 40 kgSST/m ³)	< 1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 3,0	2,0 a 5,0
Granular	< 2,0	0,5 a 1,0
	2,0 a 4,0	0,5 a 2,0
	> 4,0	> 2,0

Lodos Activos

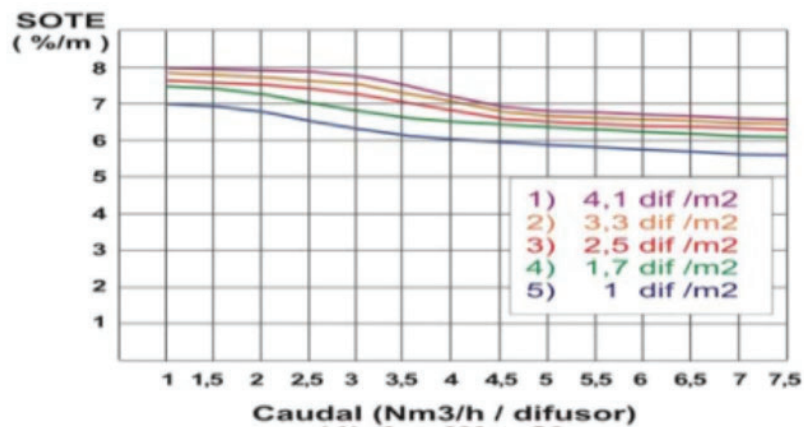


Figura 6. Transferencia de oxígeno por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor (m³/h) para distintas densidades de difusores por metro cuadrado. Fuente: Repicky

Tratamiento de Lodos

Tabla 4. Porcentajes de humedad y densidad relativa de los lodos generados por distintos procesos del tratamiento. Fuente: Romero Rojas, 2014.

Características de los lodos^(4,48)

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



FILTRO BANDA OMEGA 100000

Con 25 años de experiencia y más de 5,000 referencias de equipos instalados en 80 países del mundo, EMO es una empresa líder en la fabricación y diseño de instalaciones de tratamiento de varios tipos de lodos (incluyendo el espesamiento, prensado y secado). El Filtro Banda OMEGA está diseñado para la deshidratación mecánica continua de lodos municipales e industriales.

Con su equipado laboratorio, EMO ha identificado muchos tipos de lodos y ha ofrecido soluciones a la medida en beneficio del usuario final.

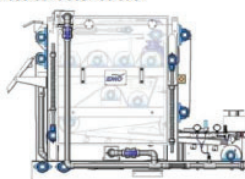
EMO no sólo proporciona equipos electromecánicos, sino soluciones de ingeniería y procesos, gracias a su staff técnico con amplia experiencia en el ramo.



Datos Técnicos

Entre los fabricantes de Filtros Banda y Mesas de Espesamiento EMO ha sido siempre el líder en el mercado para equipos con un diseño innovador, fáciles de operar y con una relación óptima de espacio / eficiencia.

EMO ofrece una amplia gama de filtros banda, los cuales son seleccionados de acuerdo con las necesidades de cada proyecto, ofreciendo las siguientes características:



- ✓ Componentes de alta calidad (construcción en acero inoxidable),
- ✓ Bajo consumo de energía y bajo costo de operación,
- ✓ Operación limpia,
- ✓ Dispositivos de seguridad para los operadores,
- ✓ Acceso sencillo para supervisión y mantenimiento,
- ✓ Control visual de los lodos durante la deshidratación.

Figura 7. Modelo del filtro de bandas utilizado para la deshidratación del lodo. Fuente: ficha técnica del filtro de bandas OMEGA 100 000 de la marca EMO

Tabla 5. Parámetros de diseño y resultados obtenidos para la generación de lodos luego de pasar por el filtro de banda Omega 100000.

Unidad	Masa de agua en el lodo inicial (kg/d)	Porcentaje de humedad final (%)	Masa de agua en el lodo post filtro (kg/d)	Masa de sólidos en el lodo post filtro (kg/d)	Porcentaje de sólidos en el lodo post filtro (%)	Densidad relativa del lodo post filtro	Densidad real del lodo post filtro (kg/m ³)	Caudal de lodo post filtro (m ³ /d)
Rejas	28,6	60	5,8	3,9	40	1,13	450,3	0,022
Tamiz	114,1	60	23,3	15,6	40	1,13	450,3	0,086
IAF SST	272,2	60	45,4	30,2	40	1,10	439,4	0,172
IAF SSEE	102,1	60	4,7	3,2	40	0,96	381,8	0,021
Alternativa 1								
Laguna	83,9	60	12,5	8,3	40	1,20	477,4	0,043

anaeróbica

Laguna facultativa 1	21,6	60	3,2	2,1	40	1,20	477,4	0,011
Laguna facultativa 2	8,6	60	1,3	0,9	40	1,20	477,4	0,004
Caudal de lodos post filtro Alternativa 1								0,36
Alternativa 2								
UASB	85,8	60	9,7	6,5	40	1,10	439,4	0,037
Lodos Activos	54,3	60	6,1	4,1	40	1,13	450,3	0,023
Caudal de lodos post filtro Alternativa 2								0,36

Cámara de Muestreo y Medición de Caudal

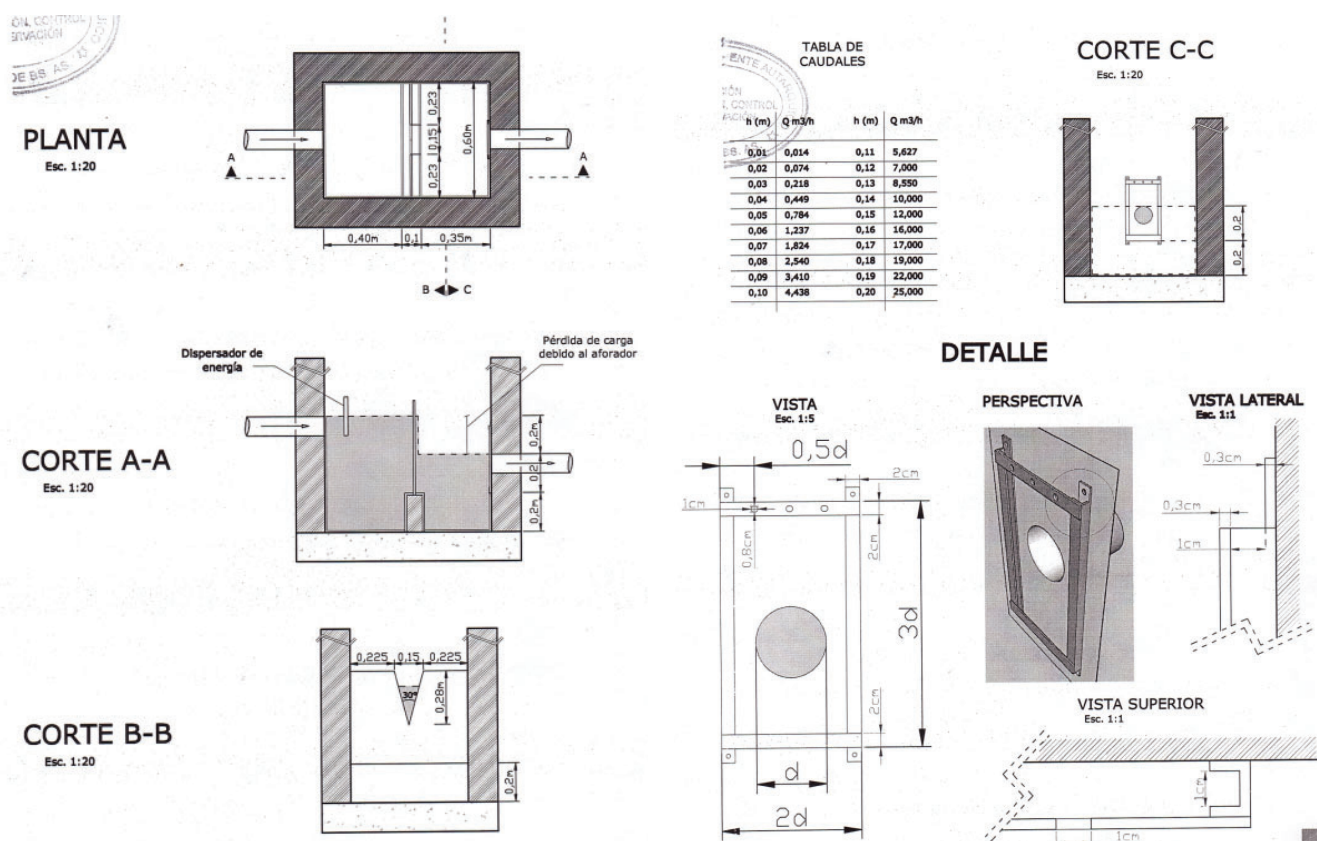


Figura 8. Medidas y geometría de la cámara de muestreo y medición de caudal acorde al expediente 2436-26529/12 de la Autoridad del Agua.

Pérdidas de Carga en Cañerías

Tabla 6. Accesorios a instalar en cada tramo junto con sus respectivas constantes.

Tramo	Accesorio	Constante (Kacc)	Sumatoria de Kacc
T1G	-	-	-
T2G	-	-	-
T3B	2 codos 90° válvula antirretorno	0,7 2	3,4
T4B	1 codo 90° válvula antirretorno	0,7 2	2,7
T5G	-	-	-
TC1G	-	-	-
TC2G	1 codo 90°	0,7	0,7
A1.T6B	2 codos 90° válvula antirretorno	0,7 2	3,4
A1.T7G	2 codos 90°	0,7	1,4
A1.T8G	2 codos 90°	0,7	1,4
A1.T9G	2 codos 90°	0,7	1,4
A1.T10B	1 codo 90° válvula antirretorno	0,7 2	2,7
A1.T11G	-	-	-
A1.T12G	-	-	-
A1.T13B	2 codos 90°	0,7	1,4
A1.T14B	válvula compuerta	0,15	0,15
A2.T6B	2 codos 90° válvula antirretorno	0,7 2	3,4
A2.T7G	-	-	-
A2.T8G	-	-	-
A2.T9B	3 codos 90° válvula antirretorno	0,7 2	4,1
A2.T10G	-	-	-
A2.T11G	-	-	-
A2.T12G	válvula compuerta	0,15	0,15
A2.T13B	2 codos 90°	0,7	1,4

A2.T14B	3 codos 90° válvula antirretorno	0,7 2	4,1
A2.T15B	3 codos 90° válvula antirretorno	0,7 2	4,1
A2.T16B	-	-	-

Catálogos de Bombas



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 25/01/2025

Contar	Descripción																																										
1	SL1.50.65 .11.2.50B  Advertencia la foto puede diferir del actual producto Código: 96104129 Bomba centrífuga de una etapa, no autocebante, diseñada específicamente para la gestión de aguas residuales, aguas de proceso y aguas fecales sin filtrar. La bomba está diseñada para el funcionamiento intermitente y continuo, como parte de instalaciones sumergidas. El revolucionario impulsor S-tube® cuenta con paso esférico libre para sólidos de hasta 50 mm, y es apto para aguas residuales con un contenido máximo de materia seca del 3 %. Un exclusivo sistema de montaje con acoplamiento de acero inoxidable permite el desmontaje rápido y sencillo de la bomba de la unidad motriz para su inspección y mantenimiento. No se requieren herramientas especiales. Paneles control: <table style="width: 100%; font-size: small;"> <tr> <td>Sensor de humedad:</td> <td>sin sensores de humedad</td> </tr> <tr> <td>Detector de agua en aceite:</td> <td>sin detector de agua en aceite</td> </tr> <tr> <td>AUTOADAPT:</td> <td>No</td> </tr> </table> Líquido: Rango de temperatura del líquido: 0 .. 40 °C Temperatura del líquido durante el funcionamiento: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Técnico: <table style="width: 100%; font-size: small;"> <tr> <td>Caudal nominal:</td> <td>9.02 l/s</td> </tr> <tr> <td>Caudal máximo:</td> <td>17.8 l/s</td> </tr> <tr> <td>Altura nominal:</td> <td>6.59 m</td> </tr> <tr> <td>Tipo de impulsor:</td> <td>SINGLE CHANNEL</td> </tr> <tr> <td>Partícula máx.:</td> <td>50 mm</td> </tr> <tr> <td>Cierre primario:</td> <td>SiC/SiC</td> </tr> <tr> <td>Homologaciones:</td> <td>EN 12050-2</td> </tr> <tr> <td>Explosion approval:</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Tolerancia de curva:</td> <td>ISO9906:2012 3B2</td> </tr> <tr> <td>Cooling jacket (Yes/No):</td> <td>N</td> </tr> </table> Materiales: <table style="width: 100%; font-size: small;"> <tr> <td>Cuerpo hidráulico:</td> <td>Fundición</td> </tr> <tr> <td>Carcasa de la bomba:</td> <td>EN-GJL-250</td> </tr> <tr> <td>Impulsor:</td> <td>Fundición</td> </tr> <tr> <td></td> <td>EN-GJS-500-7</td> </tr> <tr> <td>Motor house:</td> <td>Cast iron</td> </tr> <tr> <td>Motor:</td> <td>EN 1561 EN-GJL-200</td> </tr> <tr> <td>Motor house:</td> <td>ASTM A48 35B</td> </tr> <tr> <td>Secondary shaft seal:</td> <td>LIP SEAL, NBR</td> </tr> </table> Instalación: Rango de temperaturas ambientales: 0 .. 40 °C Presión de trabajo máxima: 6 bar Tipo de conexión de salida: DIN Tamaño de la conexión de salida: DN 65	Sensor de humedad:	sin sensores de humedad	Detector de agua en aceite:	sin detector de agua en aceite	AUTOADAPT:	No	Caudal nominal:	9.02 l/s	Caudal máximo:	17.8 l/s	Altura nominal:	6.59 m	Tipo de impulsor:	SINGLE CHANNEL	Partícula máx.:	50 mm	Cierre primario:	SiC/SiC	Homologaciones:	EN 12050-2	Explosion approval:	N	Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B2	Cooling jacket (Yes/No):	N	Cuerpo hidráulico:	Fundición	Carcasa de la bomba:	EN-GJL-250	Impulsor:	Fundición		EN-GJS-500-7	Motor house:	Cast iron	Motor:	EN 1561 EN-GJL-200	Motor house:	ASTM A48 35B	Secondary shaft seal:	LIP SEAL, NBR
Sensor de humedad:	sin sensores de humedad																																										
Detector de agua en aceite:	sin detector de agua en aceite																																										
AUTOADAPT:	No																																										
Caudal nominal:	9.02 l/s																																										
Caudal máximo:	17.8 l/s																																										
Altura nominal:	6.59 m																																										
Tipo de impulsor:	SINGLE CHANNEL																																										
Partícula máx.:	50 mm																																										
Cierre primario:	SiC/SiC																																										
Homologaciones:	EN 12050-2																																										
Explosion approval:	N																																										
Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B2																																										
Cooling jacket (Yes/No):	N																																										
Cuerpo hidráulico:	Fundición																																										
Carcasa de la bomba:	EN-GJL-250																																										
Impulsor:	Fundición																																										
	EN-GJS-500-7																																										
Motor house:	Cast iron																																										
Motor:	EN 1561 EN-GJL-200																																										
Motor house:	ASTM A48 35B																																										
Secondary shaft seal:	LIP SEAL, NBR																																										

Figura 9. Modelo de la bomba utilizada para las cañerías transportando efluente líquido con caudales más altos. Fuente: Catálogo de fabricante Grundfos.

		Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 25/01/2025
Contar	Descripción	
1	SEG.40.09.2.50B  Código: 96075897 Advertencia: la foto puede diferir del actual producto Las bombas trituradoras Grundfos SEG son bombas centrífugas de una etapa, no autocebantes, con puerto de descarga horizontal, diseñadas específicamente para el bombeo de agua residual de descarga de inodoros. La bomba incorpora un sistema triturador que tritura los sólidos destruibles, convirtiéndolos en fragmentos de menor tamaño y permitiendo su impulsión a través de tuberías de diámetros relativamente pequeños. Las bombas trituradoras SEG son idóneas para el uso en áreas escasamente pobladas, donde no existen sistemas de drenaje de aguas fecales por gravedad. Algunos ejemplos son las aldeas, zonas agrícolas y zonas con grandes diferencias de nivel de terreno, donde un sistema presurizado ofrece ventajas. La bomba está disponible para dos tipos de instalación: • instalación sumergida en sistemas con autoacoplamiento; • instalación sumergida, independiente. La bomba está fabricada de materiales resistentes al desgaste, como fundición y acero inoxidable. Estos materiales garantizan un funcionamiento fiable. La bomba posee superficies lisas que impiden la acumulación de suciedad e impurezas. Una abrazadera de acero inoxidable resistente a la corrosión mantiene el motor sujeto a la carcasa de la bomba y facilita el mantenimiento de la bomba. El sistema SmartTrim facilita el ajuste de la holgura del impulsor para maximizar la eficiencia de la bomba a lo largo de toda su vida útil. El diseño de las bombas de esta gama está pensado para reducir el consumo energético y minimizar los costes asociados a las averías, ofreciéndole al mismo tiempo un rendimiento óptimo durante toda la vida útil del sistema. Paneles control: Sensor de humedad: sin sensores de humedad AUTOADAPT: No Líquido: Rango de temperatura del líquido: 0 .. 40 °C Temperatura del líquido durante el funcionamiento: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³ Técnico: Tipo de impulsor: SIST TRITURADOR Cierre primario: SIC/SIC Homologaciones: PA-I Tolerancia de curva: ISO9906:2012 3B2 Materiales: Carcasa de la bomba: Hierro fundido EN1561 EN-GJL-200 Impulsor: Fundición EN1561 EN-GJL-200 Instalación:	

Figura 10. Modelo de la bomba utilizada para las cañerías transportando efluente líquido con caudales más bajos. Fuente: Catálogo de fabricante Grundfos.

Verderflex

Vantage 5000

Description
The new Verderflex Vantage 5000 cased drive peristaltic pump accurately doses liquids at pressures exceeding 7 Bar for industries ranging from the aseptic, pharmaceutical environment to the harsh requirements of water treatment and mining.

Your benefits

- Advanced touch screen controls
- Intuitive, easy to follow menus
- Large diameter rotor
- Maximum flow rate 6600 ml/min, 396 l/h
- Precision stepper motor dosing 4096:1 speed control ratio
- USB interface for pump back-up and job transfer
- Many remote controls options: analogue, digital & BUS control versions

Technical specifications

Max. flow rate	6600 ml/min, 396 l/h
Maximum Pump Speed	400 rpm
Max. discharge pressure	>7 bar
Speed Control Ratio	4096:1
Temperature	5°C - 40°C
Ingress Rating	IP66 / NEMA 4X (washdown)
Power Supply	85-265V 50/60Hz AC single phase with fuseless reset switch
Humidity	(condensing) 10-100% RH
Torque Rating	2.2Nm, continuous duty
Noise	<70dB (A) at 1m
Weight	12 kg

Materials

Casing	Gravity die-cast LM6 Aluminium, Alocromed and powder coated
Continuous Tubing Clamps	Glass Filled Nylon
Display	High definition 110mm (4.33") TFT touch screen
Drive shaft	304 Stainless steel with thermoplastic polyurethane (TPU) sleeve
Pump Head	PPS (polyphenylene sulphide) Rotor Body & Arms 304 Stainless Steel Main rollers with 440C Stainless Steel Bearings Nylon guide rollers. Bearing Strut : Bulk Moulding Compound (BMC) - glass fibre re-enforced thermoset polyester
Pump Head Door	Polycarbonate
Pump Head Enclosure	Bulk Moulding Compound (BMC) - glass fibre re-enforced thermoset polyester
Screen Guard	Impact Resistant Polycarbonate
Screen Enclosure	Bulk Moulding Compound (BMC) - glass fibre re-enforced thermoset polyester
Tube Element Connectors	PVDF



VERDERFLEX®

Figura 11. Modelo de la bomba utilizada para las cañerías transportando lodos con. Fuente: Catálogo del fabricante VenderFlex.

Catálogos de Cañerías

PVC HIDRÁULICA

Tubería PVC Advance



TUBERÍA

Comercializamos tubería y conexiones de PVC de la línea hidráulica, ideales para la conducción de aguas residuales o de desecho. Son productos de alta calidad 100% mexicanos.

CARACTERÍSTICAS

- Resistencia a la Corrosión
- Libre de incrustaciones
- Resistencia Mecánica
- Hermeticidad
- Economía

VENTAJAS

- Resistencia a la Corrosión
- Libre de incrustaciones
- Resistencia Mecánica
- Resistencia a la Electrólisis
- Menores pérdidas por fricción
- Facilidad de instalación

NORMAS VIGENTES APLICABLES

NMX-E145 NMX-E143

CERTIFICADOS

NOM-001-CONAGUA-2011 NMX-CC-9001 SO9001:2015

SISTEMA RIEBER

Las campanas unión cuentan con sistema RIEBER (junta o anillo integrado a la tubería de PVC), donde el anillo y el mandril actúan juntos como una herramienta para la fabricación de la campana del tubo. Este diseño es eficaz con la presión positiva como negativa, mientras más fuerte sea la presión se hará más hermética.

EXTREMO CAMPANA -SERIE INGLESA

Diametro Nominal (Pulgadas)	Diam. Real (mm)	RD-26	RD-32.5	RD-41
Espesor				
1 1/2	38	48,3	1,9	1,5
2	50	60,3	2,3	1,8
2 1/2	60	73,0	2,8	2,2
3	75	88,9	3,4	2,7
4	100	114,3	4,4	3,5
6	150	168,3	6,5	5,1
8	200	219,1	8,4	6,7
10	250	273,1	10,5	8,4
12	300	323,9	12,4	9,9
14	350	355,6	13,6	10,9

Se surte en tramos de 6m con un extremo acampanado.

Dímetro Nom. / Real (mm)	CLASE 5	CLASE 7	CLASE 10	CLASE 14
Espesor				
63		1,5	2,2	
80		2,0	2,8	3,8
100	1,8	2,4	3,4	4,8
160	2,8	3,9	5,5	7,6
200	3,5	4,9	6,9	9,5
250	4,4	6,1	8,6	11,9
315	5,5	7,7	10,9	15,0
355	6,2	8,7	12,2	16,7
400	7,0	9,8	13,8	19,0
450	7,9	11,0	15,5	21,4
500	8,8	12,2	17,2	23,8
630	11,1	15,4	21,7	30,0
800	14,0	19,5	27,6	38,1

Se surte en tramos de 6m con un extremo acampanado.

Equivalencias RD vs Presiones

RD	Presión Máxima de Trabajo kg/cm ²
13.5	21,7
21	13,7
26	11,0
32.5	8,6
41	6,9

Dependiendo de la presión de trabajo por el uso final del tubo, la tabla superior le ayudará a escoger la clase correcta.

Equivalencias Presiones

CLASE	Presión Máxima de Trabajo kg/cm ²
5	5,0
7	7,0
10	10,0
14	14,0

Dependiendo de la presión de trabajo por el uso final del tubo, la tabla superior le ayudará a escoger la clase correcta.

EXTREMO LISO -SERIE INGLESA

Diametro Nominal (Pulgadas)	Diam. Real (mm)	RD-13.5	RD-21	RD-26	RD-32.5	RD-41
Espesor						
1/2	13	21,3	1,6	1,2	1,0	
3/4	19	26,7	2,0	1,5	1,5	
1	25	33,4	2,5	1,6	1,5	
1 1/4	32	42,2		2,0	1,6	
1 1/2	38	48,3		2,3	1,9	1,5
2	50	60,3		2,9	2,3	1,8
2 1/2	60	73,0		3,5	2,8	2,2
3	75	88,9		4,2	3,4	2,7
4	100	114,3		5,3	4,4	3,5
6	150	168,3		8,0	6,5	5,1
8	200	219,1			8,4	6,7
10	250	273,1			10,5	8,4
12	300	323,9			12,4	9,9
14	350	355,6			13,6	10,9

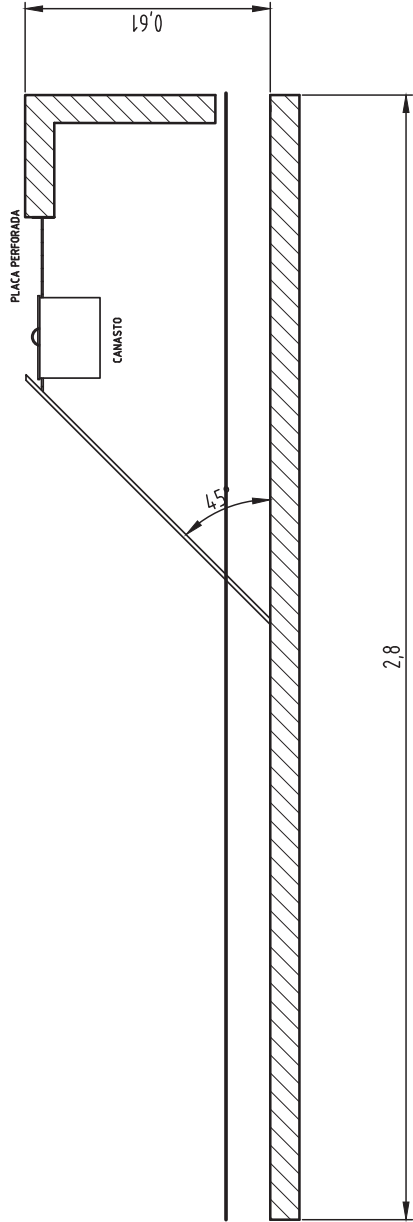
Se surte en tramos de 6m con los dos extremos lisos

Figura 12. Modelo de cañerías de distintos diámetros utilizadas para el transporte de efluente líquido y lodos. Fuente: Catálogo del fabricante Tododren.

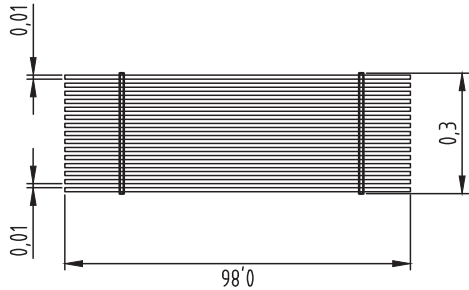
Anexo 3 - Planos

- **Plano 1.A:** Sistema de Rejas para el efluente industrial
- **Plano 1.B:** Sistema de Rejas para el efluente cloacal
- **Plano 2:** Ecualizador
- **Plano 3:** Sistema de Flotación por Aire Inducido
- **Plano 4:** Pozo de Bombeo
- **Plano 5:** Laguna Anaeróbica
- **Plano 6:** Laguna Facultativa 1
- **Plano 7:** Laguna Facultativa 2
- **Plano 8:** Laguna de Maduración
- **Plano 9:** Cámara de Cloración
- **Plano 10:** Tanque de Recirculación
- **Plano 11:** Vista Superior PTEL

VISTA LATERAL

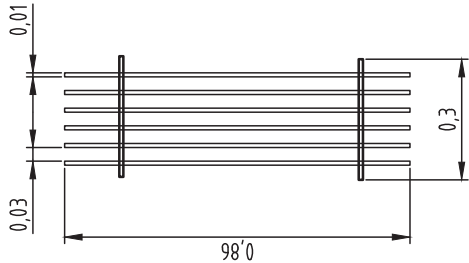


DETALLE REJAS MANUALES FINAS

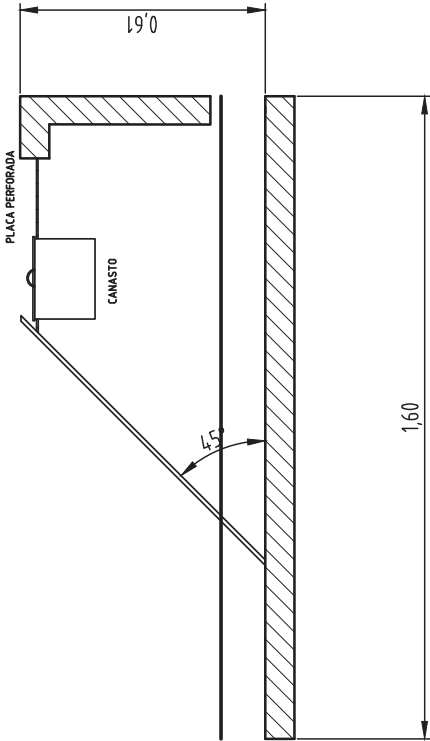


Tolerancias Generales	Proyectó	2025		Universidad Nacional de San Martín	Estudiante	Olivia Suarez
	Dibujó	2025			Docentes	Vera Mignaqui
	Revisó					
	Aprobó					
	Escala	1:1,25	Denominación		Trabajo	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado
				Cátedra	PFI	
	Formato	A3			N° plano	Plano 1.B
						Pág. 1

DETALLE REJAS MANUALES GRUESAS



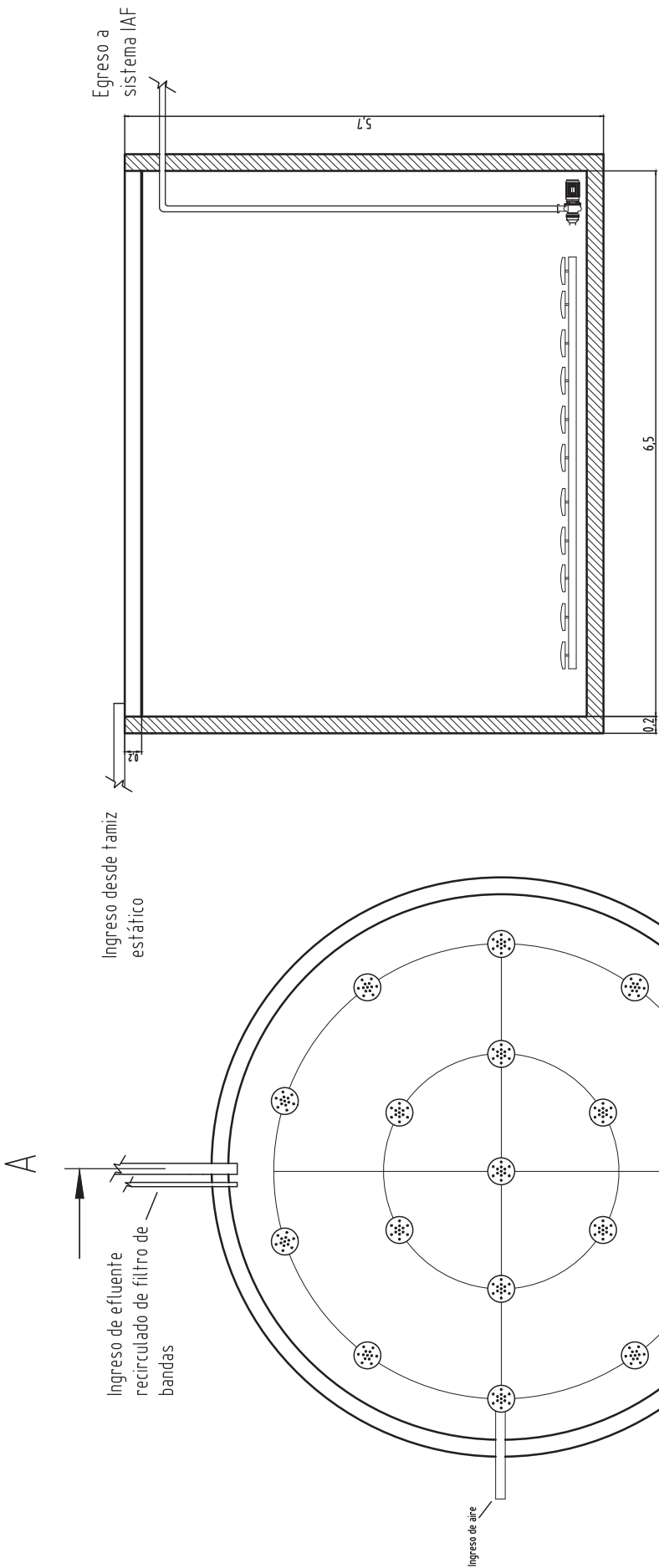
VISTA LATERAL



Tolerancias Generales	Proyectó	2025		Universidad Nacional de San Martín	Estudiante	Olivia Suarez	
	Dibujó	2025			Docentes	Vera Mignaqui	
	Revisó						
	Aprobó						
	Escala	1:1,25	Denominación		Trabajo	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado	
		Sistema de Rejas Gruesas			Cátedra	PFI	
Formato		A3	N° plano			Plano 1.A	
						Pág.	1

VISTA SUPERIOR

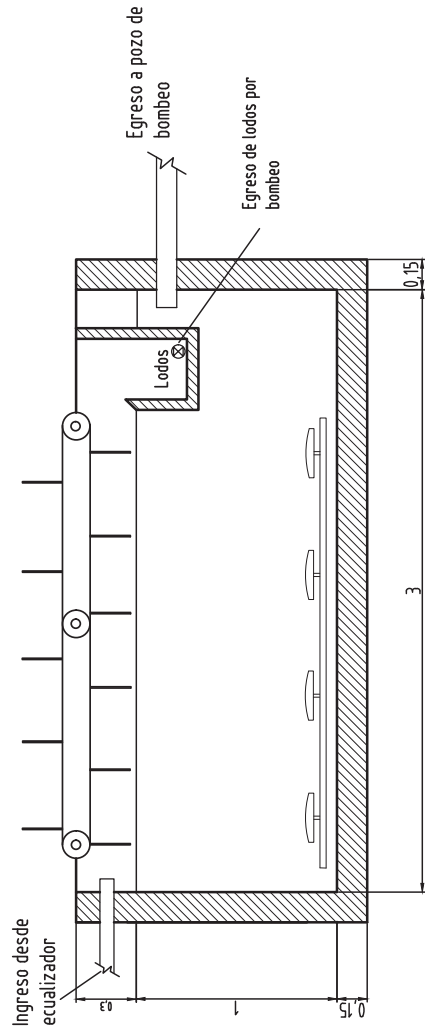
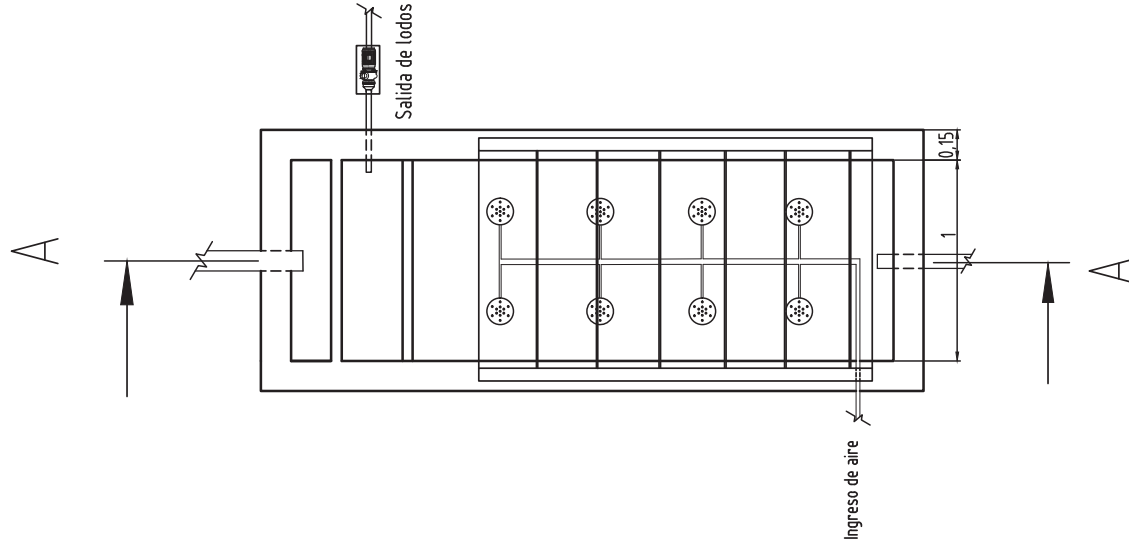
CORTE A-A



Tolerancias Generales	Proyectó	2025	Ingeniería Ambiental	 Universidad Nacional de San Martín	Estudiante	Olivia Suarez		
	Dibujó	2025			Docentes	Vera Mignaqui		
	Revisó		Trabajo Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado					
	Aprobó							
	Escala	1:5	Denominación		Trabajo Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado			
				Cámara de Ecuálización			PFI	
Formato A3				N° plano			Plano 2	Pág. 2

VISTA SUPERIOR

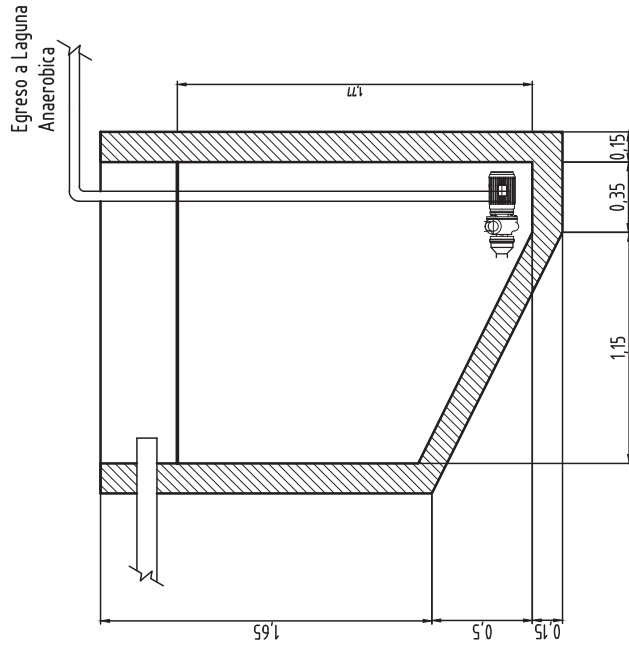
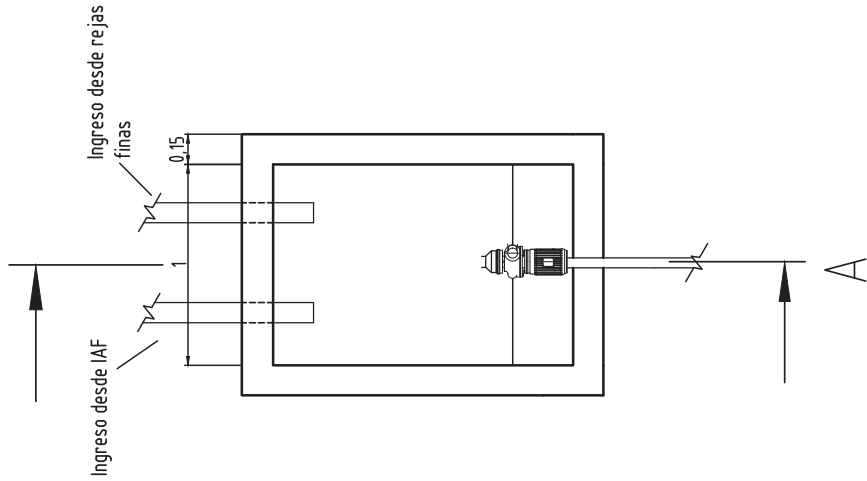
CORTE A-A



Tolerancias Generales	Proyectó	2025		Estudiante	Olivia Suarez		
	Dibujó	2025			Docentes	Vera Mignaqui	
	Revisó				Cátedra	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado	
	Aprobó				Cátedra	PFI	
	Escala		Denominación	Sistema de flotacion por aire inducido (IAF)	N° plano	Plano 3	Pág. 3
	1:25						
							
Formato A3							

VISTA SUPERIOR

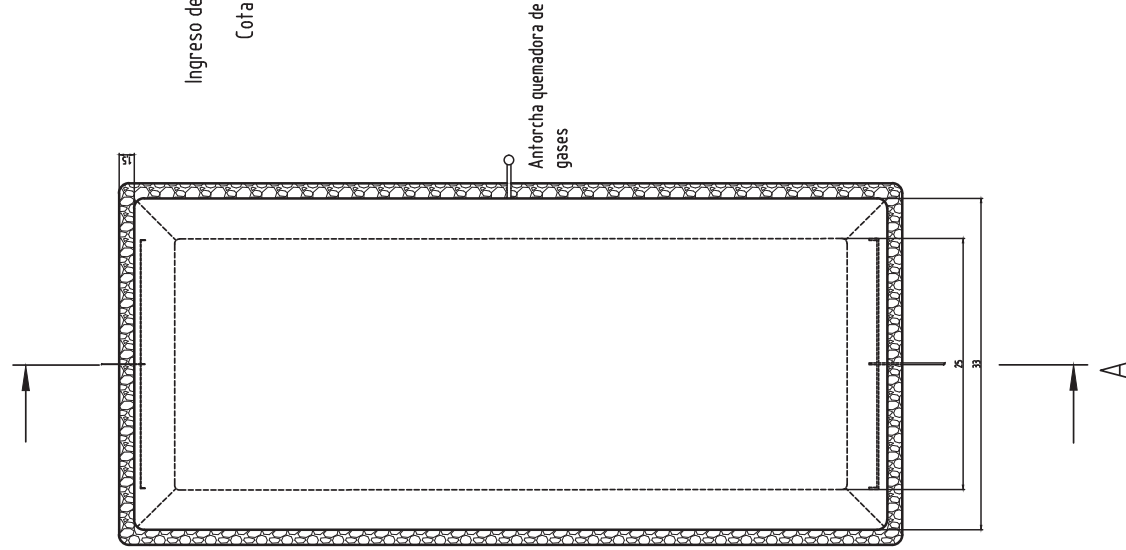
CORTE A-A



Tolerancias Generales	Proyectó	2025	Ingeniería Ambiental	Universidad Nacional de San Martín	Estudiantes	Olivia Suarez
	Dibujó	2025			Docentes	Vera Mignaqui
	Revisó					
	Aprobó					
	Escala	1:25	Denominación		Trabajo	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado
				Pozo de Bombeo	Cátedra	PFI
Formato	A3				Nº plano	Plano 4
						Pág. 4

VISTA SUPERIOR

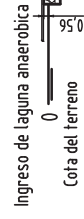
CORTE A-A



Tolerancias Generales	Proyectó	2025	Ingeniería Ambiental	 Universidad Nacional de San Martín	Estudiantes	Olivia Suarez
	Dibujó	2025			Docentes	Vera Mignaqui
	Revisó					
	Aprobó					
	Escala	1:5	Denominación		Trabajo	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado
				Laguna Anaerobica	Cátedra	PFI
Formato	A3		N° plano		Plano 5	Pág. 5

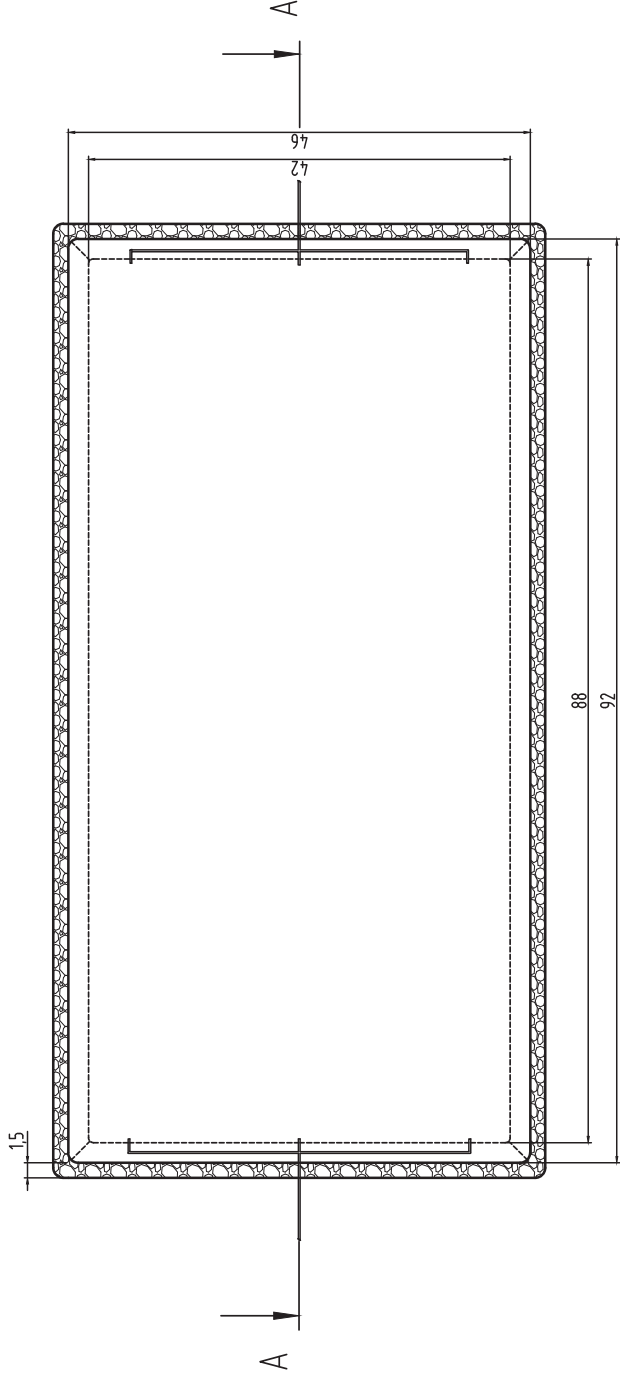
Technical drawing of a rectangular frame. The drawing shows a cross-section of the frame with a decorative border. The overall width is 160 and the overall height is 156. The inner opening is 156 wide and 150 high. The frame has a thickness of 15. The drawing includes section lines (A-A) and dimension lines indicating the various measurements.

Egreso a laguna facultativa 2



Tolerancias Generales	Proyecto	2025	 Universidad Nacional de San Martín	Estudiantes	Olivia Suarez
	Dibujó	2025		Docentes	Vera Migniqui
	Revisó				
	Aprobó				
	Escala	Denominación		Trabajo	
1:6			Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado		
			Cátedra		
			PFI		
Formato			N° plano		
A3			Plano 6		
			Pág. 6		

VISTA SUPERIOR



CORTE A-A

VISTA SUPERIOR

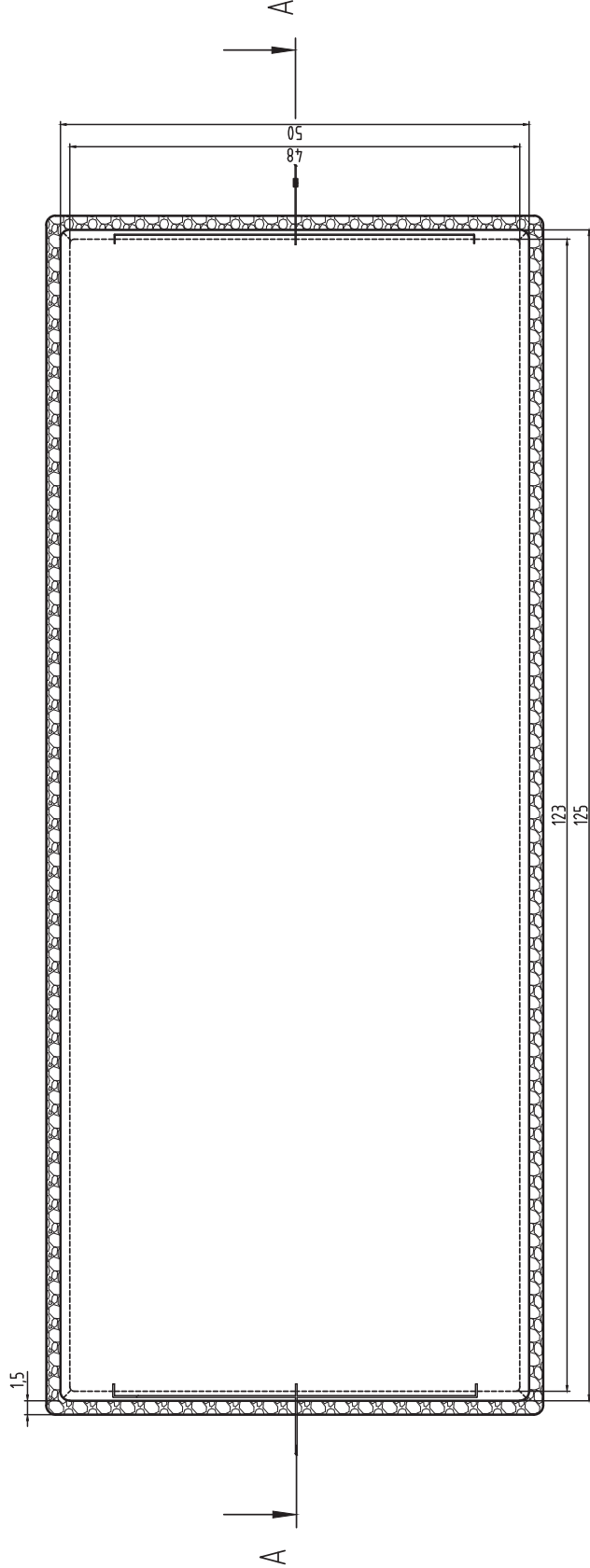
CORTE A-A

Ingreso de laguna facultativa 1



Tolerancias Generales	Proyectó	2025	Ingeniería Ambiental	 Universidad Nacional de San Martín	Estudiante	Olivia Suarez
	Dibujó	2025			Docente	Vera Mignaqui
	Revisó					
	Aprobó					
	Escala	1:5	Denominación		Trabajo	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado
				Cátedra	PFI	
	Formato	A3			N° plano	Plano 7
						Pág. 7

VISTA SUPERIOR



CORTE A-A

Ingreso de laguna facultativa 2



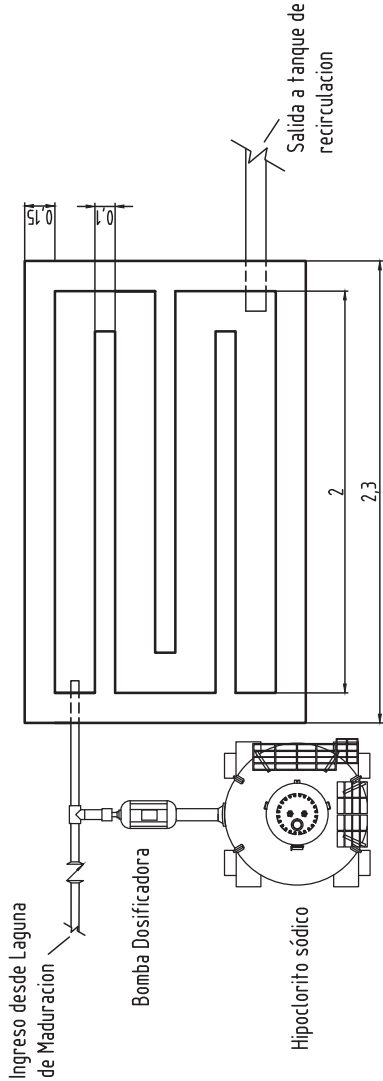
Cota del terreno

Egreso a camara de cloracion por bombeo

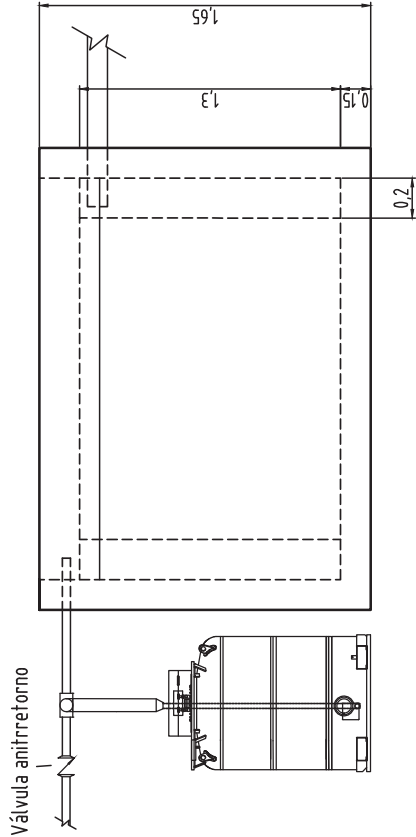


Tolerancias Generales	Proyectó Dibujó Revisó Aprobó	2025	Ingeniería Ambiental	 Universidad Nacional de San Martín	Estudiante	Olivia Suarez	
		2025			Docente	Vera Mignaqui	
	Escala 1:5	Denominación		Trabajo	Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado		
		Laguna de Maduración				Cátedra	PFI
Formato				N° plano	Plano 8	Pág. 8	
A3							

VISTA SUPERIOR



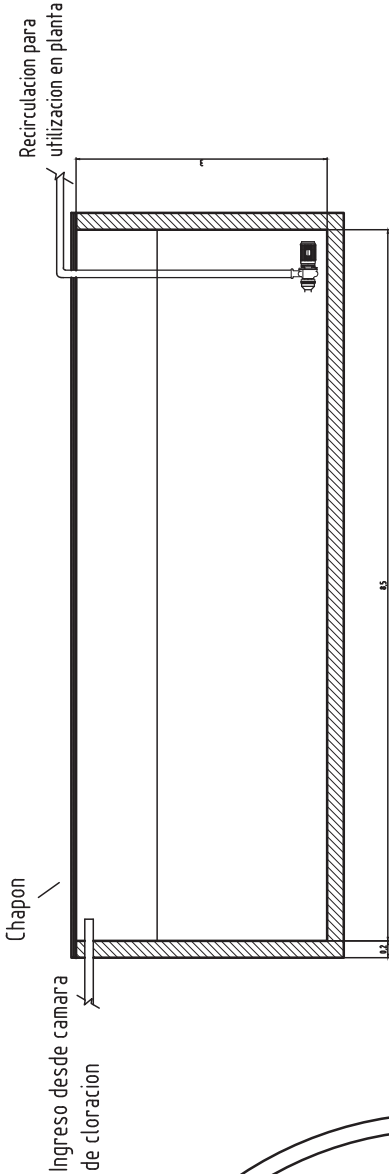
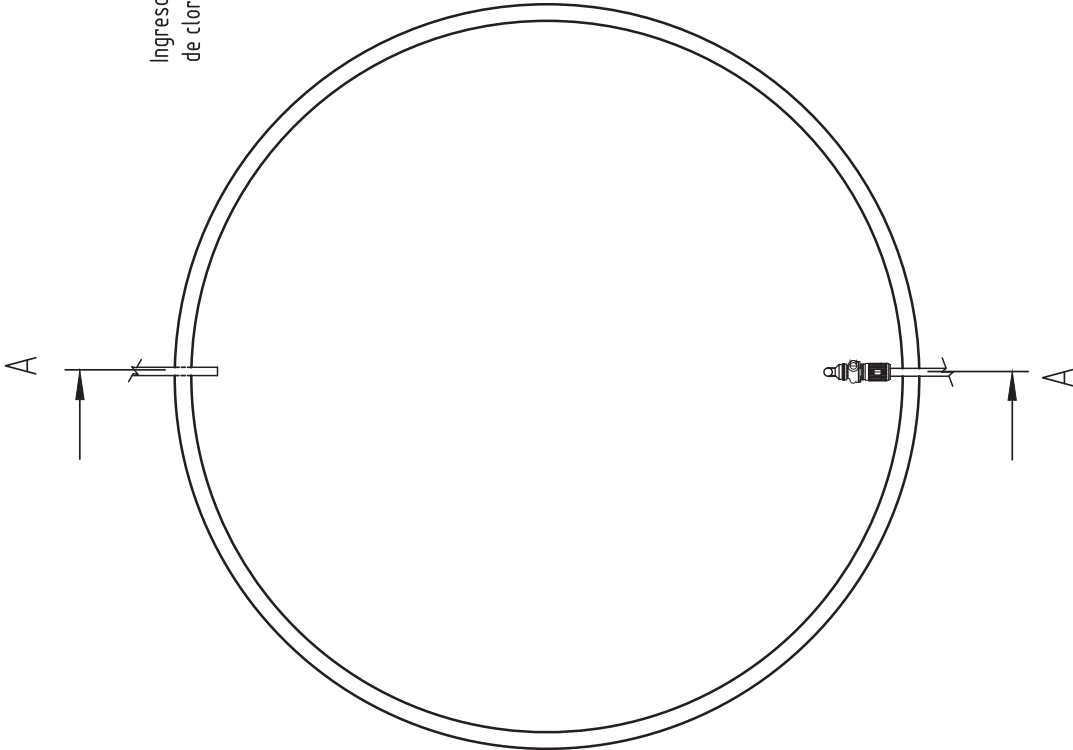
VISTA LATERAL



Tolerancias Generales	Proyectó	2025	Ingeniería Ambiental		Estudiante	Olivia Suarez
	Dibujó	2025				
	Revisó				Docente	Vera Mignaqui
	Aprobó				Trabajo Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado	
	Escala	1:25	Denominación			
					Cámara de Cloración	
			Formato	A3	N° plano	Plano 9
					Pág.	

VISTA SUPERIOR

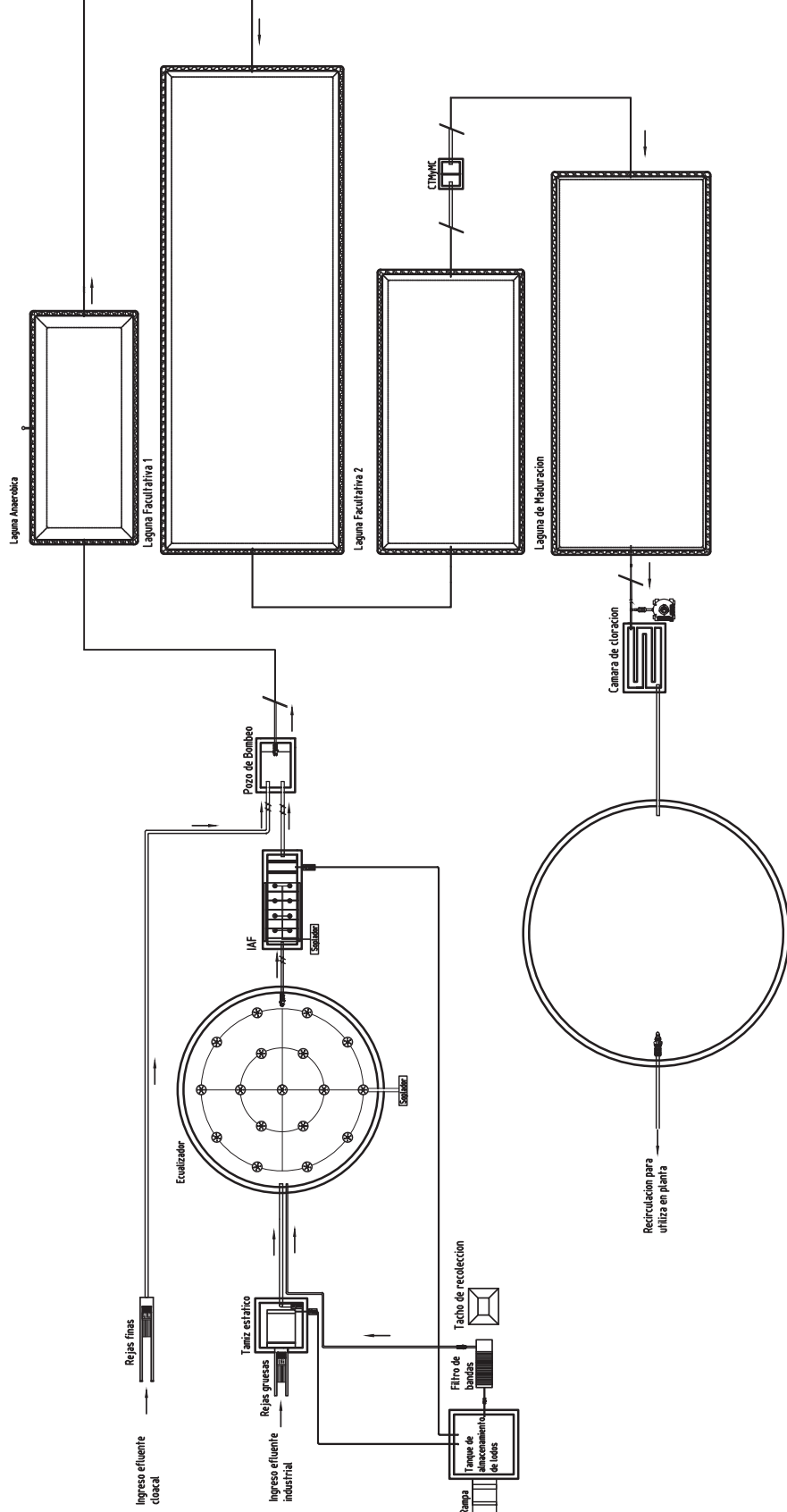
CORTE A-A



Tolerancias Generales	Proyectó	2025	Ingeniería Ambiental	 Universidad Nacional de San Martín	Estudiante	Olivia Suarez
	Dibujó	2025			Docente	Vera Mignaqui
	Revisó				Trabajo Optimización del tratamiento de efluentes de un matadero y frigorífico de Bragado	
	Aprobó					
	Escala		N° plano			
	1:6		Plano 10			
			Pág.			
	Formato		10			
	A3					

Escala 1:1

Lagunas en escala 1:10



Tolerancias Generales	Proyectó			Estudiante	Olivia Suarez	
	Dibujó	Ingeniería Ambiental				
	Revisó					
	Aprobó					
	Escala	Denominación				
	1:15	Vista en Planta del Sistema de Tratamiento de Efluentes				
		Cátedra	PFI	Nº plano	Plano 11	Pág. 11
Formato A 3						