



**Escuela de
Hábitat y Sostenibilidad**
EHyS_UNSAM

**Diseño de un sistema de tratamiento para los
efluentes líquidos y de un sistema de ventilación
localizada para las emisiones gaseosas de una
curtiembre localizada en Valentín Alsina**

Proyecto Final Integrador

Ingeniería Ambiental

Universidad Nacional de San Martín (UNSAM)

Estudiante: Mariano Quinteros

Legajo: CYT-7723

Fecha de entrega: 06/03/2025

Tutora: Ing. Ruth Rodríguez

A mis abuelos, que siempre me prestaron un oído

A mis gatos, que me acompañaron en todo el proceso

A mis amigos, que compartieron las horas de trabajo

A mis compañeros, que me pincharon para seguir

A mi familia, que me dio fuerzas

Índice de contenidos

Resumen	5
Introducción	6
Objetivos del proyecto	6
Justificación del proyecto	6
Sobre la industria curtidora.....	7
Caracterización de la empresa <i>Encuerado</i>	8
Datos generales	8
Proceso productivo.....	9
Efluentes líquidos.....	15
Emisiones gaseosas	23
Presentación de las posibles soluciones técnicas.....	30
Alternativas para el tratamiento de los efluentes líquidos	30
Alternativas para el tratamiento de las emisiones gaseosas.....	40
Comparación de alternativas.....	42
Memoria descriptiva.....	46
Sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de lodos	46
Sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas	52
Memoria de cálculo: Sistema de tratamiento de efluentes líquidos	55
Línea de curtido y recurtido	55
Línea de terminación.....	82
Línea de tratamiento secundario	97
Memoria de cálculo: Sistema de tratamiento de lodos	126
Tratamiento de lodos primarios con cromo.....	126
Tratamiento de lodos mixtos sin contenido de cromo	133
Memoria de cálculo: Sistema de ventilación localizada.....	142
Captación y tratamiento de las emisiones vinculadas a la etapa de pulido	142

Captación y tratamiento de las emisiones vinculadas a la terminación.....	151
Sondeo Etapa I	161
Capital de inversión y operación	163
Costos de inversión.....	163
Costos operativos	164
Análisis de costos	166
Estudio de Impacto Ambiental	167
Introducción.....	167
Marco legal e institucional	167
Descripción del Proyecto.....	169
Línea de base del proyecto	172
Identificación y evaluación de impactos ambientales.....	179
Plan de Prevención y Mitigación.....	182
Conclusiones del EsIA	183
Conclusiones finales.....	185
Bibliografía.....	186
Anexo I: Visita preliminar a curtiembres	196
Anexo II: Límites de vuelco a colectora cloacal.....	205
Anexo III: Tablas resumen de las alternativas de tratamiento de efluentes líquidos y emisiones gaseosas propuestos.....	208
Anexo IV: Equipamiento instalado	210
Anexo V: Pérdida de carga del sistema de ventilación localizada propuesto - Planilla de cálculos.....	227
Anexo VI: Etapa I de sondeo simple	229
Anexo VII: Capital de inversión y operación - Planilla de cálculos.....	231
Anexo VIII: Cálculo de matriz de impactos ambientales.....	239
Anexo IX: Planos	242

Resumen

El presente documento propone el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para la firma *Encuerado*, una curtiembre teórica de pieles vacunas localizada en Valentín Alsina, partido de Lanús.

La empresa abordada lleva a cabo las etapas de Curtido al cromo, Recurtido vegetal y diversas operaciones de Terminación, como son el pulido del cuero y la aplicación de lacas, pigmentos y resinas mediante una cabina de pintado. Consecuentemente de su actividad, se generan efluentes líquidos con elevada carga orgánica, sales, sólidos en suspensión y presencia de cromo trivalente, los cuales deben ser tratados y adecuados previo a su vuelco final en la red cloacal local. La empresa también genera emisiones gaseosas que contienen contaminantes químicos, como ser Material Particulado y Compuestos Orgánicos Volátiles, impactando en el aire del ambiente laboral y posteriormente a la calidad de aire exterior.

La alternativa de tratamiento de efluentes líquidos diseñada contempla una separación inicial de las corrientes a tratar, basada en sus características similares: curtido y recurtido, terminación, y cloacales. El tratamiento de la primera línea incluye una cámara de remoción de grasas, seguido por una unidad de precipitación de cromo acoplada a un sedimentador primario. Por otra parte, la línea de terminación contempla un sistema de coagulación y floculación, acoplado a una unidad de flotación DAF. Ambas corrientes confluyen en una cámara de partición, donde también ingresa la línea cloacal, para luego ser dirigidas a un reactor de lodos activados con cámara preanóxica y sedimentador secundario. De forma similar, los barros generados son separados inicialmente en base a su contenido de cromo, para luego ser tratados mediante un espesador, un digestor aeróbico, y un filtro prensa.

Por su parte, la alternativa de captación y tratamiento de las emisiones gaseosas contempla la instalación de dos sistemas de ventilación localizada independientes, concebidos con el fin de controlar el proceso de pulido del cuero y la aplicación de productos de terminación. El primer sistema incluye un ciclón para la remoción de material particulado, mientras que el segundo comprende un incinerador térmico para la oxidación de compuestos orgánicos.

El documento incluye la memoria descriptiva, la memoria de cálculo, y los planos a nivel de ingeniería básica para ambos sistemas de tratamiento diseñados. También se presenta un análisis de costos, vinculado a la construcción y operación de los mismos. Finalmente, se evalúa la viabilidad ambiental del proyecto mediante un Estudio de Impacto Ambiental.

Introducción

Objetivos del proyecto

En el presente Proyecto Final Integrador (PFI), se buscó diseñar una planta de tratamiento de efluentes líquidos y un sistema de captación y tratamiento de las emisiones gaseosas para la curtiembre teórica *Encuerado*, localizada en Valentín Alsina, Lanús (ver Figura 1). Los objetivos específicos perseguidos, se listan a continuación:

- Diseñar un tren de tratamiento para los efluentes líquidos de la curtiembre *Encuerado*, la cual realiza las etapas de curtido al cromo, recurtido vegetal y terminación. Se considera vuelco final a colectora cloacal.
- Diseñar un sistema de deshidratación y estabilización para los barros generados por la planta de tratamiento de efluentes líquidos.
- Diseñar un sistema de ventilación localizada (captación y tratamiento) para las emisiones gaseosas de *Encuerado*, vinculadas al desprendimiento de partículas de cuero durante la etapa de pulido y al uso de solventes durante la terminación.

Justificación del proyecto

El partido de Lanús se encuentra ubicado en el noreste de la Provincia de Buenos Aires y limita con los municipios de Lomas de Zamora, Quilmes, Avellaneda y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Posee una superficie total de 48.35 km² y una población aproximada de 462,000 habitantes, conformándose como uno de los partidos más pequeños y con mayor densidad poblacional del aglomerado urbano conocido como Gran Buenos Aires [38].

La radicación de industrias es un fenómeno que atraviesa gran parte de la historia del partido, siendo de particular importancia la presencia de curtiembres. Debido a la falta de regulación del uso de suelo, sumado a escasos controles ambientales, Lanús presenta una combinación de zonas residenciales e industriales con el consecuente deterioro ambiental de una parte importante del territorio [6] [64].

En respuesta a la problemática ambiental planteada, y enmarcándose en el Proyecto Final Integrador de la carrera Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín, se propuso el diseño un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas y un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos de una curtiembre teórica localizada en el departamento de Valentín Alsina, partido de Lanús, provincia de Buenos Aires (ver Figura 1). Se utilizó el nombre de fantasía *Encuerado* para referir a la curtiembre evaluada.

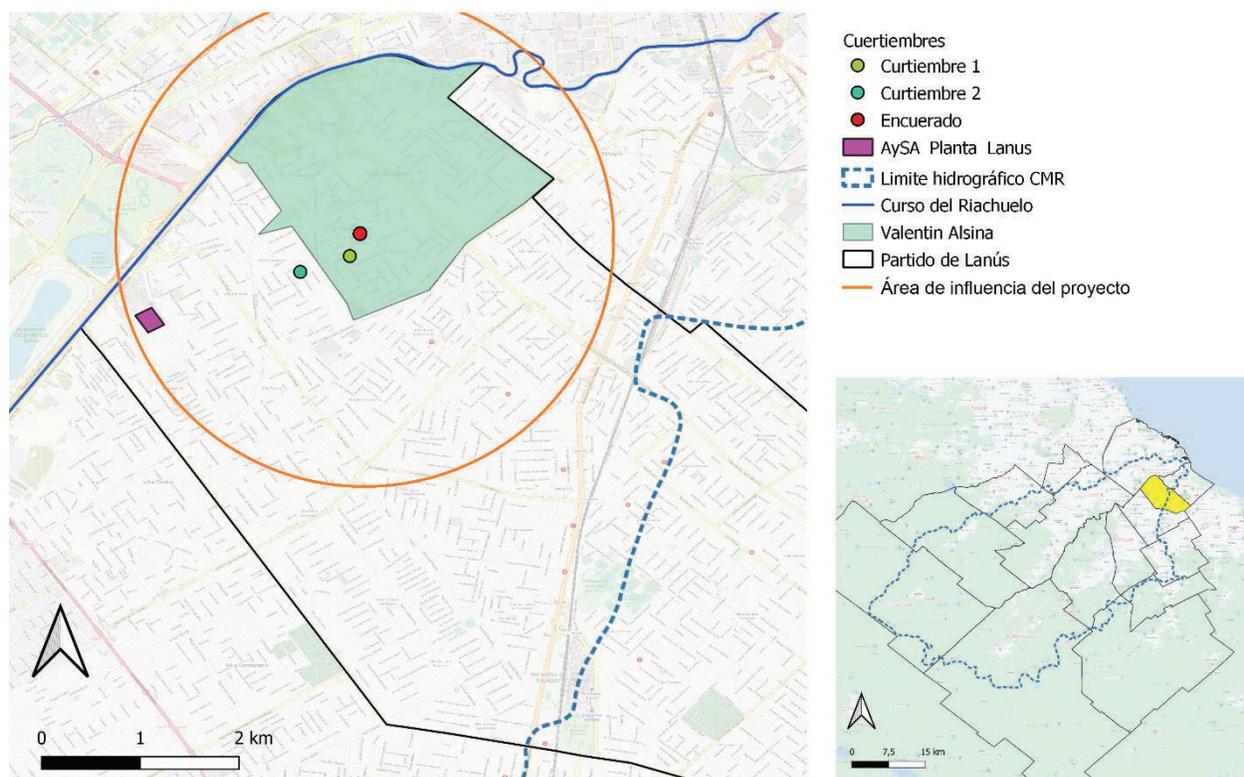


Figura 1: Departamento de Valentín Alsina, partido de Lanús. Rojo: Localización de la curtiembre *Encuerado*. Verde y Celeste: Localización de dos curtiembres visitadas para la realización del presente Proyecto Final Integrador (ver Anexo I). Violeta: Planta de tratamiento de efluentes cloacales de AySA (Planta Lanús). Naranja: Área de influencia definida. Mapa base: Openstreetmap.

Sobre la industria curtidora

El curtido es el proceso de transformación de la piel del animal en cuero, debido a la reacción de las fibras de colágeno en la piel con un agente curtiente (cromo trivalente, taninos vegetales, entre otros). Dentro de la Cuenca Matanza-Riachuelo (CMR), la práctica más habitual es el curtido de pieles vacunas con cromo trivalente [39].

El proceso productivo de las curtiembres puede dividirse en cuatro grandes fases: la **ribera**, donde se recorta la piel, se le quita el pelo, y se la prepara para etapas posteriores; el **curtido**, donde la piel es transformada en cuero, mediante la acción de un agente curtiente; el **recurtido**, donde la piel se curte nuevamente y se tiñe; y la **terminación**, donde se efectúan diferentes operaciones que otorgan al cuero sus propiedades organolépticas finales. Dependiendo el grado de procesamiento que se realiza sobre la materia prima, pueden obtenerse diferentes productos: el *wet blue* refiere al cuero al cual se le ha realizado un primer curtido al cromo; el cuero semiterminado es obtenido a partir de aplicar un proceso extra de recurtido, secado y ablandado; el cuero terminado se consigue tratando el cuero semiterminado con pinturas y lacas, y otros varios trabajos mecánicos [9] [39].

Las plantas de curtido generan aguas residuales con alta carga de contaminantes. De acuerdo a la etapa del proceso productivo, la composición del efluente líquido varía: en el área de ribera los efluentes poseen pH alcalino y grandes cantidades de grasa, carga orgánica, sólidos suspendidos, compuestos nitrogenados y sulfuros disueltos; en las fases de curtido y recurtido poseen pH ácido, elevada carga orgánica, presencia de cromo (en caso que se utilice cromo como agente curtiente) y sales; las aguas de lavado se caracterizan por poseer una elevada conductividad y concentración de sólidos en suspensión. Previo a su vuelco, los efluentes líquidos de una curtiembre deben ser tratados y adecuados en conformidad con la normativa ambiental aplicable [14] [27] [39].

La actividad industrial de las curtiembres también genera emisiones gaseosas que contienen contaminantes químicos. La emisión de estos compuestos varía según el tipo de procesamiento de la piel y las etapas involucradas en la elaboración y terminación del cuero, pudiéndose resumir en: sulfuro de hidrógeno, amoníaco, compuestos orgánicos volátiles, material particulado en suspensión y compuestos con bajo umbral de olor. Las emisiones gaseosas impactan tanto el aire del ambiente laboral, como así también en la calidad del aire exterior a nivel de inmisión. Los sistemas de ventilación industrial buscan captar y controlar las fuentes de generación de compuestos químicos gaseosos, resguardando a su vez la exposición de los trabajadores en el ambiente laboral [14] [18] [107] [115].

Caracterización de la empresa *Encuerado*

Datos generales

La firma *Encuerado* posee una planta productiva localizada en Valentín Alsina, partido de Lanús, donde se producen 30 tipos diferentes de cueros vacunos semiterminados y terminados. Los artículos manufacturados poseen un tamaño entre 4.0-4.5 m² por cuero. La capacidad instalada es de 70 t de cueros a la semana, lo cual representa aproximadamente 500 unidades por día hábil, considerando un peso de 28 kg/cuero promedio [14]. Si bien actualmente se trabajan menos cueros que la capacidad instalada, se proyecta alcanzar una producción de 70 t semanales en un período estimado de 3 años.

La curtiembre cuenta con 26 empleados y se proyecta la incorporación de 4 personas más. El horario de trabajo es lunes a viernes, de 8:00 a 17:00 h. Las instalaciones para el personal incluyen comedor para el almuerzo, vestuario y baño con duchas para el aseo.

Proceso productivo

El proceso productivo de *Encuerado* contempla las etapas de curtido, recurtido, y terminación. Las operaciones que constituyen cada una de las fases mencionadas, se desglosan a continuación [39] [43] [62] [69] [89] [97]:

Curtido: La piel es transformada en cuero, otorgándole así estabilidad hidrotérmica y al deterioro por acción de microorganismos. El agente curtiente empleado es cromo trivalente.

- **Recepción de la materia prima:** Se reciben pieles a las que ya se les ha aplicado un proceso de Ribera, es decir, ingresan depiladas y divididas en flor (capa donde se encontraba la dermis con los pelos) y descarne (capa inferior). Las pieles son luego inspeccionadas en búsqueda de imperfecciones y clasificadas por tamaño.
- **Piquelado:** Las pieles son enviadas a un fulón (ver Figura 2), donde se las trata con ácido fórmico y sulfúrico en medio salino (aprox. 4-6% de cloruro de sodio). El objetivo es acidificar fuertemente la piel, hasta alcanzar un pH entre 2.8-3.2, de manera que se elimine el álcali remanente de la etapa de Ribera y evitar así la precipitación de sales de cromo en las fibras del cuero durante el curtido. Por su parte, la adición de cloruro de sodio busca prevenir el hinchamiento del producto.



Figura 2: Fotografía de fulón de curtido, obtenida durante una de las visitas realizadas a curtiembres.

- **Curtido:** Se utiliza sulfato básico de cromo trivalente como agente curtiente ($\text{Cr}(\text{OH})(\text{SO}_4)$), a razón de 2-3% con relación al peso de las pieles a curtir, para estabilizar el colágeno de la piel y transformarla en cuero. La operación se realiza en el mismo fulón con el baño de piquelado, a una temperatura de 35-40°C, y su duración es de aproximadamente 12 horas.

Para lograr un proceso exitoso de curtido es necesario aplicar agentes auxiliares, incluyendo funguicidas, agentes complejantes, engrasantes, y bicarbonato de sodio como basificante (el pH al final del proceso debe ser entre 3.8-4.2). Del conjunto de compuestos empleados, solo una fracción es asimilada por las pieles, mientras que el resto permanece en los baños. Al final de esta etapa, se obtiene el *wet blue*.

- **Ecurrido:** Finalizado el proceso de curtido, tiene lugar un período de reposo en caballete de aproximadamente 24 horas. Una vez terminado, el *wet blue* es enviado escurridora mecánica, la cual consta de dos rodillos cilíndricos con la finalidad de presionar el cuero que circule entre ellos.

Recurtido: El *wet blue* se curte nuevamente, se neutraliza y se tiñe, completando la transformación de la piel en cuero. Se utilizan taninos vegetales como agente recurtiente.

- **Rebajado:** En esta operación se adapta mecánicamente el espesor del cuero, ya sea en flor como descarne. Se utiliza una máquina rebajadora (ver Figura 3).



Figura 3: Máquina rebajadora. Ref.: [25].

- **Neutralización:** El *wet blue* ingresa en un fulón, donde se emplea ácido fórmico (H-COOH) como agente neutralizante. El objetivo de esta operación es adecuar el perfil del pH a través del espesor del cuero, para optimizar los procesos siguientes.
- **Recurtido:** Las pieles vuelven a ser curtidas, con el fin de lograr un aumento de blandura, una estructura más compacta, y favorecer un teñido más uniforme. Se utilizan taninos vegetales comerciales como agentes de recurtición, junto con otros agentes auxiliares. El proceso ocurre en el mismo fulón que la neutralización.
- **Engrasado y tintura:** Se introducen grasas y aceites comerciales en el fulón de recurtido, para reemplazar aquellos aceites naturales del cuero perdidos durante los

procesos de ribera y curtido. También se incluyen anilinas colorantes para teñir el cuero, procurando dar a los mismos un color parejo en su superficie y su espesor, que cumpla con los requerimientos del mercado. El proceso se realiza a una temperatura de 60-65°C, y su duración es de aproximadamente 30-40 minutos.

- **Ecurrido:** El cuero es escurrido mecánicamente.

Terminación: En función del artículo que se desea obtener, se efectúan diferentes operaciones que otorgan al cuero sus propiedades organolépticas finales (color, tacto, blandura, firmeza, entre otras).

- **Secado:** Se extrae el contenido remanente de agua y productos químicos del cuero, hasta alcanzar una humedad apropiada para continuar con las operaciones posteriores. El método de secado utilizado por *Encuerado* es el *toggling* (Figura 4), en el cual se colocan los cueros en una serie de pantallas, para luego ser enviadas a una secadora con temperatura y humedad controladas.



Figura 4: Máquina de secado por toggling. Ref.: [91].

- **Acondicionado:** Se aplica una aspersion fina de agua sobre el cuero, para homogeneizar la humedad remanente y alisar el producto.
- **Ablandado:** Esta operación busca la ruptura mecánica de las fibras adheridas, haciendo el cuero más blando y flexible. La empresa *Encuerado* utiliza una máquina ablandadora denominada *molisa*, como la que se observa en la Figura 5.
- **Pulido:** Si el cuero no se encuentra en óptimas condiciones (grietas, raspaduras, manchas, etc.), se utiliza una máquina pulidora para esmerilar la superficie y homogeneizar el espesor del producto (ver Figura 6).



Figura 5: Máquina molisa, obtenida durante una de las visitas realizadas a curtiembres.



Figura 6: Máquina pulidora. Ref.: [13]

- **Terminación:** Se realizan diferentes procesos de terminación sobre el cuero, con el fin de proporcionar protección superficial y lograr un aspecto que cumpla con los requerimientos del mercado. Dependiendo del artículo producido, la empresa *Encuerado* puede realizar un laminado, gravar un patrón sobre la superficie del cuero, y/o aplicar una película de terminación. La maquinaria empleada en cada caso se presenta en la Figura 7 y Figura 8.

En la mayoría de sus productos, la empresa aplica una película de terminación. Dicha película se encuentra conformada por una capa base, una intermedia y/o una superior (ver Tabla 1). Se utilizan entre 190-250 g de productos de terminación por m² de cuero, los cuales son aplicados mediante una cabina de pintado conteniendo un dispositivo rotativo con pistolas pulverizadoras. Luego, el cuero es secado dentro de un horno integrado a la cabina.



Figura 7: Izq: Máquina laminadora con rodillos calefaccionados. Der: Prensa utilizada en el grabado de los cueros. Ambas fotografías fueron obtenidas durante una de las visitas realizadas a curtiembres.



Figura 8: Izq.: Cabina de pintado con revolver automático, para la aplicación de la capa de terminación. Der.: Túnel de secado. Ambas fotografías fueron obtenidas durante una de las visitas realizadas a curtiembres.

Tabla 1: Principales componentes y aditivos utilizados por Encuerado en las capas de terminación de cueros. Ref.: [14].

Capa	Principales componentes	Aditivos
Base	Solvente orgánico; Pigmentos/colorantes; Resinas	Ceras; Surfactantes; Agentes espesantes; Diluyentes
Intermedia	Solvente orgánico; Pigmentos/colorantes; Resinas	
Superior	Solvente orgánico; Lacas; Agentes aglutinantes	Agentes mateantes; Agentes ligantes

La Tabla 2 presenta el resumen de las operaciones expuestas. La Figura 9 presenta un diagrama de flujo general para el proceso de curtido de *Encuerado*, donde también se indican las principales emisiones gaseosas y efluentes líquidos generados en las etapas de curtido, recurtido y terminación.

Tabla 2: Resumen de las operaciones y maquinaria empleada en cada etapa del proceso de curtido de pieles vacunas. Entre paréntesis, se incluye la cantidad poseída de cada maquinaria.

Etapas	Operación	Maquinaria empleada
Curtido: La piel es transformada en cuero, otorgándole así estabilidad hidrotérmica y a la descomposición. El agente curtiente empleado por <i>Encuerado</i> es el cromo trivalente.	Recepción	Camiones y autoelevadores.
	Piquelado	Fulones de curtido (3).
	Curtido	
	Ecurrido	Máquina de escurrir (2).
Recurtido: El <i>wet blue</i> se curte nuevamente, se neutraliza y se tiñe, completando la transformación de la piel en cuero. El agente recurtiente empleado por <i>Encuerado</i> son taninos vegetales.	Rebajado	Rebajadora (2).
	Neutralización	Fulones de recurtido (3).
	Recurtido	
	Engrase y tintura	Máquina de escurrir (2).
Ecurrido		

Etapa	Operación	Maquinaria empleada
Terminación: En función del artículo que se desea obtener, se efectúan diferentes operaciones que otorgan al cuero sus propiedades organolépticas finales.	Secado	Máquina de secado por <i>Toggling</i> (2).
	Acondicionado	Pistola de aspersion de agua (2).
	Ablandado	Máquina ablandadora o <i>molisa</i> (2).
	Pulido	Máquina pulidora o esmeriladora (2).
	Terminación	Máquina laminadora (1), prensa de grabado (1) y cabina de pintado con revolver automático (1).

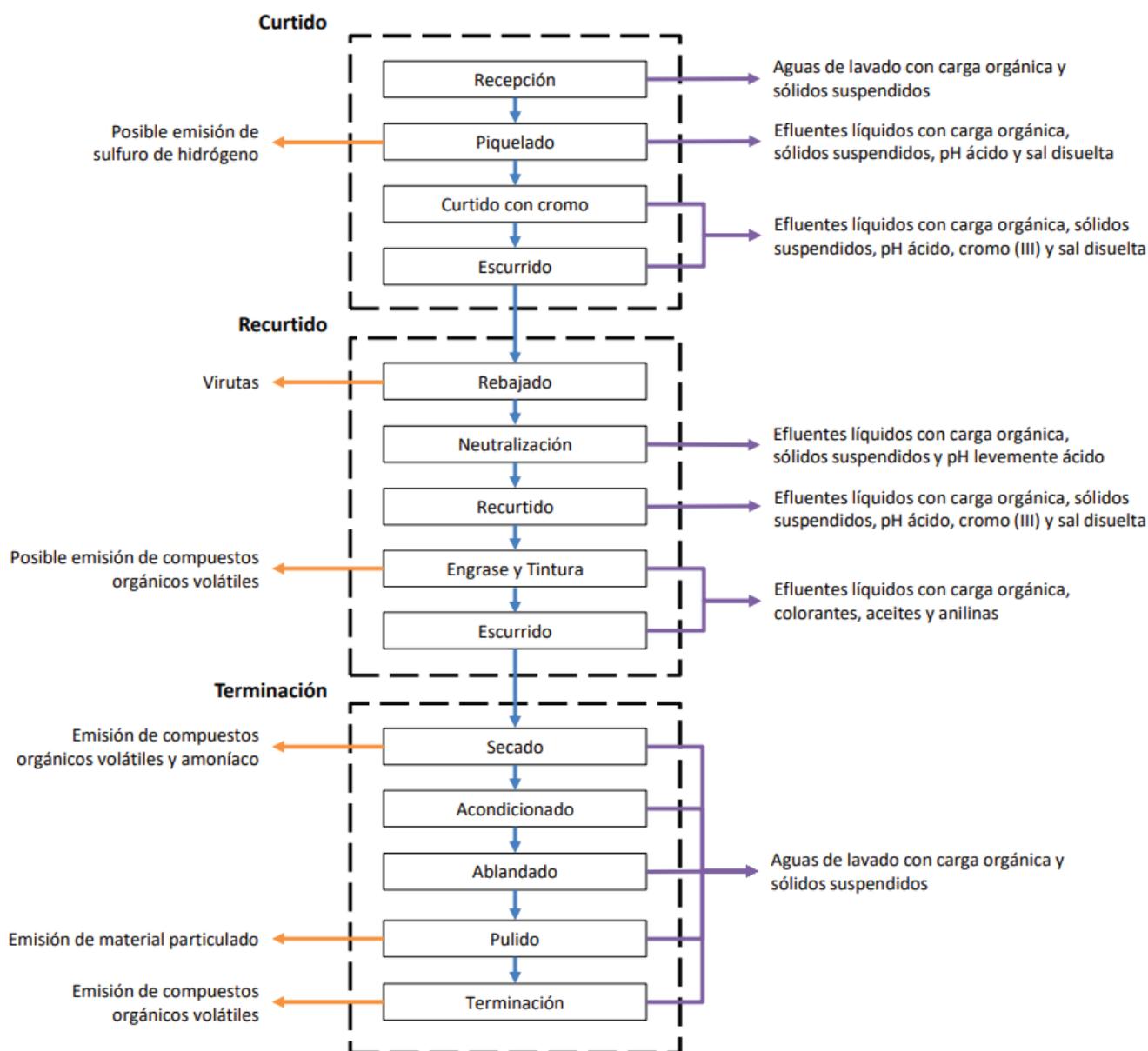


Figura 9: Diagrama de flujo general para el proceso de curtido de pieles vacunas de Encuerado. A la derecha (violeta), los principales efluentes líquidos generados. A la izquierda (naranja), las principales emisiones gaseosas.

Efluentes líquidos

Identificación de los efluentes líquidos generados

La curtiembre *Encuerado* genera efluentes líquidos que deben ser tratados y adecuados, previo a su vuelco final. Se distinguen: **efluentes cloacales**, los cuales incluyen aguas negras y grises provenientes del comedor, vestuario y duchas del predio; y **efluentes de proceso**, generados como consecuencia de la actividad productiva de la empresa.

La composición y caudal de los efluentes de proceso varían en función de cada una de las etapas de producción del cuero. A continuación se realiza una descripción de los efluentes de proceso generados por *Encuerado*, basada en un relevamiento bibliográfico, y la cual distingue entre las etapas de curtido, recurtido y terminación [9] [14] [27] [39] [45] [69]:

- Con respecto a la composición del efluente, la fase de curtido se caracteriza por un pH ácido, elevada carga orgánica, y presencia de cromo y sales. Durante el recurtido se generan efluentes con carga orgánica y compuestos nitrogenados, debido al uso de taninos vegetales, engrasantes, colorantes y otros agentes auxiliares. También pueden contener cromo disuelto, por desprendimiento del cromo retenido en la estructura del cuero. Finalmente, la etapa de terminación posee una elevada concentración de sólidos en suspensión y presencia de compuestos orgánicos utilizados como insumos durante las operaciones de acabado.
- En términos de volumen, los principales aportes se dan en la etapa de curtido y recurtido, debido a la descarga de los baños de los fulones y a las aguas de lavado de equipos e instalaciones. La menor fracción corresponde a la terminación.

La Tabla 3 contiene una descripción de los principales efluentes líquidos generados en cada una de las diferentes etapas del proceso productivo de la empresa *Encuerado*.

Tabla 3: Principales características de los efluentes líquidos generados en las etapas del proceso productivo de *Encuerado*: Curtido, Recurtido, y Terminación.

Etapa	Operación	Principales efluentes generados
Curtido	Recepción	Las aguas de lavado generan el arrastre de compuestos orgánicos y sales residuales. También contienen detergentes utilizados para la limpieza de las instalaciones.
	Piquelado	Los baños provenientes de los fulones de piquelado y curtido contienen la fracción de agentes químicos que no fueron asimilados por las pieles, por lo que los efluentes de estas operaciones poseen pH ácido, elevada carga orgánica, sólidos en suspensión, cromo trivalente y sales disueltas (mayormente cloruro de sodio).
	Curtido	
	Ecurrido	

Etapa	Operación	Principales efluentes generados
Recurtido	Neutralización	Los baños provenientes de los fulones de recurtido, engrase y tintura contienen la fracción de agentes químicos que no fueron asimilados por las pieles, por lo que los efluentes de estas operaciones poseen elevada carga orgánica, grasas, aceites y compuestos nitrogenados, debido al uso de taninos vegetales, engrasantes, colorantes y agentes auxiliares. También pueden contener cromo disuelto, por desprendimiento del cromo retenido en la estructura del cuero.
	Recurtido	
	Engrase y tintura	
	Escurreo	
Terminación	Secado	Las aguas de lavado generan el arrastre de sólidos en suspensión; de compuestos orgánicos utilizados como insumos durante las operaciones de acabado, normalmente de baja biodegradabilidad; y también de detergentes utilizados para la limpieza de los equipos e instalaciones.
	Acondicionado	
	Ablandado	
	Pulido	
	Terminación	

Debido a que las características de los efluentes líquidos provenientes de las etapas de curtido y recurtido son semejantes, como ser una elevada carga orgánica y presencia de cromo trivalente, se decidió utilizar las mismas unidades de tratamiento para que ambas corrientes alcancen los límites de vuelco establecidos por la normativa ambiental vigente. De esta forma, el presente Proyecto Final Integrador consideró que las aguas residuales provenientes de las etapas de curtido y recurtido son recolectadas en conjunto, para ser tratadas por las mismas unidades dentro de la planta.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se contemplaron tres corrientes de ingreso diferentes para el diseño de la planta de tratamiento de efluentes líquidos:

1. Efluentes de proceso, provenientes de la etapa de curtido y recurtido.
2. Efluentes de proceso, provenientes de la etapa de terminación.
3. Efluentes cloacales (ver Nota).

Nota: Si bien es posible verter la corriente de cloacales directamente en la colectora local, se decidió usarlos como suplemento en las unidades de tratamiento biológicas propuestas. De esta forma, se consigue un aporte de nitrógeno, fósforo y flora microbiana que facilita la degradación de la mezcla de efluentes generada [21].

Caracterización del efluente de proceso

La caracterización de los efluentes de proceso generados por la empresa *Encuerado* se realizó en base a un relevamiento bibliográfico (ver Tabla 4 y Tabla 5). Los valores para cada parámetro fueron adoptados siguiendo un enfoque conservador: se buscó un valor dentro de los rangos recopilados, mayor al promedio aritmético.

Tabla 4: Principales contaminantes presentes en los efluentes de proceso de *Encuerado* - Etapa de curtido y recurtido.

Parámetro	Valores relevados en bibliografía							Valor adoptado
	[14]	[73]	[69]	[60]	[83]	[100]	[102]	
DQO (g/m ³)	1667 - 4000	8408	7150	-	2067 - 3400	-	1107	6000
DBO (g/m ³)	533 - 1467	4493	1900	-	667 - 1267	700 - 4200	327	3000
SST (g _{SST} /m ³)	-	1673	770	1000	733 - 1400	800 - 2000	-	1400
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	200 - 667	5050	3250-6100	3000	200 - 467	-	287	3500
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	40 - 53	-	190-330	-	60 - 93	-	-	120
NTK (g _N /m ³)	67 - 200	-	-	-	107 - 193	-	76	200
Fósforo total (g _P /m ³)	-	-	-	5	-	-	-	5
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	2667 - 6000	-	-	-	2667 - 5333	-	-	6000
pH (upH)	-	3.52	3.65	2-3	-	2.4-3.2	2.7-3.4	2.5
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	1667 - 4667	-	787	-	3000 - 4667	-	1507	3000
Grasas SSEE (g/m ³)	267 - 667	-	-	600	-	-	375	600
Detergentes SAAM (g/m ³)	-	-	-	20 - 70	-	-	-	60

Tabla 5: Principales contaminantes presentes en los efluentes de proceso de *Encuerado* - Etapa de terminación.

Parámetro	Valores relevados en bibliografía					Valor adoptado
	[14]	[83]	[73]	[100]	[102]	
DQO (g/m ³)	0 - 5000	0 - 2500	945	-	3733	3000
DBO (g/m ³)	0 - 2000	0 - 1000	1220	2000	433	1000
SST (g _{SST} /m ³)	-	0 - 1000	-	450	-	800
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	-	-	-	-	-	0 (*)
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	-	-	75	-	13	75
NTK (g _N /m ³)	-	-	116	-	59	110
Fósforo total (g _P /m ³)	-	-	5	-	-	5
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	-	-	-	-	-	0 (*)
pH (upH)	-	-	7.85	3.90	-	6
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	-	-	-	-	293	300
Grasas SSEE (g/m ³)	-	-	-	-	313	300
Detergentes SAAM (g/m ³)	-	-	-	-	-	60 (**)

(*) Se adoptó una concentración nula de Cromo total y Sulfatos para los efluentes de la etapa descrita, sobre la base que dichos compuestos no son utilizados como insumo durante las operaciones de terminación de *Encuerado*.

(**) Se adoptó la misma concentración de Detergentes SAAM que para la etapa de curtido y recurtido (ver Tabla 4).

Nota: Se presenta una tabla de caracterización unificada para los efluentes provenientes de las etapas de curtido y recurtido. Esto se debe a que la bibliografía consultada no distingue en varias ocasiones las aguas residuales provenientes de ambas etapas, y que las mismas serán recolectados en conjunto para ser tratadas por las mismas unidades dentro de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.

Caudal de generación del efluente de proceso

El caudal medio de generación de efluentes de proceso (Q_{gen}) de la firma *Encuerado* fue calculado con las expresiones [Ec. 1] y [Ec. 2], como el producto entre la producción media de cueros (P) y el valor de generación de efluentes por tonelada de piel procesada (R):

- Se realizaron los cálculos contemplando el aumento en la producción proyectado a futuro. De esta forma, se consideró una producción media de 70 t de cueros vacunos por semana (P), con una jornada laboral de lunes a viernes, de 8:00 a 17:00 h.
- El parámetro R fue obtenido a partir de un relevamiento bibliográfico y en base a la visita de dos curtiembres localizadas en Valentín Alsina, realizado durante abril de 2023 (ver Anexo I). Se adoptó un valor dentro del rango recopilado, dando mayor jerarquía a la experiencia de las curtiembres relevadas (ver Tabla 6).

Tabla 6: Generación de efluentes por tonelada de materia prima procesada, para las etapas de curtido, recurtido y terminación. Los valores corresponden a un proceso productivo que utiliza piel vacuna salada y curtido al cromo.

Etapa	Valor bibliográfico	Ref.	Valor adoptado
Curtido y recurtido	12 m ³ /t piel cruda	[45]	15 m ³ /t piel cruda
	10 - 18 m ³ /t piel cruda	[39]	
	10 - 20 m ³ /t piel cruda	Visita a curtiembres	
Terminación	0.9 - 2.0 m ³ /t piel cruda	[14]	2 m ³ /t piel cruda
	1 - 2 m ³ /t piel cruda	[39]	
	1.1 - 2.1 m ³ /t piel cruda	Visita a curtiembres	

$$[\text{Ec. 1}] \quad Q_{gen\ d} = R * P * \frac{1\ \text{semana}}{5\ \text{días hábiles}}$$

$$[\text{Ec. 2}] \quad Q_{gen\ h} = Q_{gen\ d} * \frac{1\ \text{día}}{9\ \text{horas hábiles}}$$

Donde:

- $Q_{gen\ d}$ [m³/d]: Caudal de generación medio diario - **Curtido y recurtido: 210.0 m³/d**
- **Terminación: 28.0 m³/d.**
- $Q_{gen\ h}$ [m³/h]: Caudal de generación medio horario - **Curtido y recurtido: 23.33 m³/h**
- **Terminación: 3.11 m³/h.**
- P [t/semana]: Producción media de cueros vacunos - 70 t/semana.
- R [m³ efluente/t de piel cruda]: Relación entre el caudal de generación de efluentes líquidos y la producción de cueros de la empresa - Curtido y recurtido: 15 m³/t piel cruda - Terminación: 2 m³/t piel cruda.

En base a la experiencia de las curtiembres visitadas durante abril 2023, se adoptó una distribución normal en la producción diaria de cueros. Luego, se multiplicó dicha producción por la relación R, permitiendo conocer la distribución horaria de generación de efluentes líquidos de la empresa *Encuerado*. Los resultados obtenidos se consideran representativos de una jornada laboral típica, y se presentan a continuación:

Tabla 7: Producción de cueros y generación horaria de efluentes de proceso - Etapas de curtido, recurtido y terminación. Valores obtenidos considerando una distribución normal con máximo al mediodía, y considerando los valores de la relación R de la Tabla 6. El Total diario fue calculado como la suma de los valores horarios (de 8:00 a 17:00 h).

Horario	Producción horaria de cueros (t/hora)	Qgen efluente curtido y recurtido (m ³ /h)	Qgen efluente terminación (m ³ /h)
8:00 a 9:00	0.84	12.60	1.68
9:00 a 10:00	1.40	21.00	2.80
10:00 a 11:00	2.06	30.90	4.12
11:00 a 12:00	2.32	34.80	4.64
12:00 a 13:00	2.18	32.70	4.36
13:00 a 14:00	2.04	30.60	4.08
14:00 a 15:00	1.60	24.00	3.20
15:00 a 16:00	1.04	15.60	2.08
16:00 a 17:00	0.52	7.80	1.04
Promedio	1.56 t cuero/hora	23.33 m ³ /h	3.11 m ³ /h
Total diario	14.0 t cuero/día	210.0 m ³ /día	28.0 m ³ /día

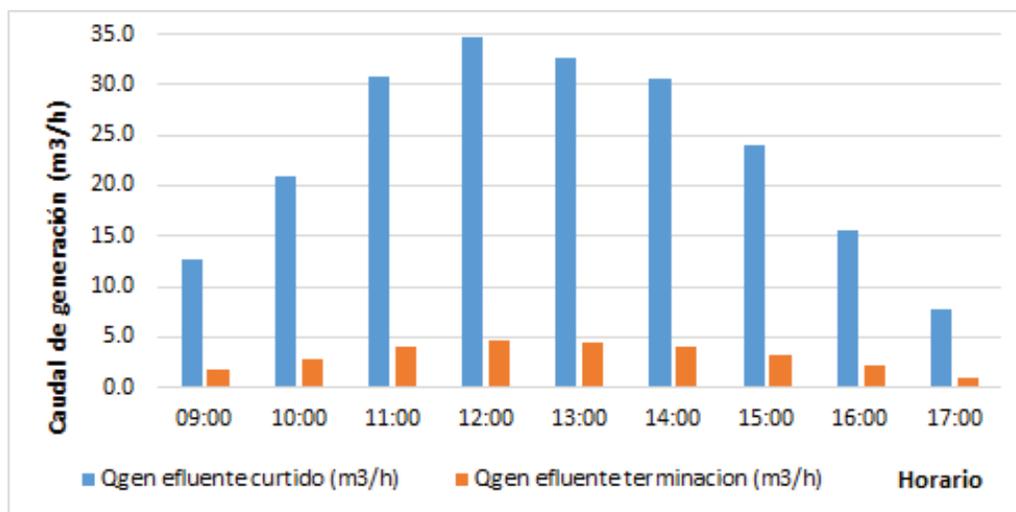


Figura 10: Distribución horaria de la generación de efluentes líquidos para las etapas de curtido y recurtido (azul) y para la etapa de terminación (naranja).

Caracterización del efluente cloacal

La caracterización del efluente cloacal generado por la empresa *Encuerado* se realizó en base a un relevamiento bibliográfico (ver Tabla 8). Para cada parámetro se adoptó un valor medio, buscando que el mismo se encuentre dentro de todos los rangos recopilados. En el caso del parámetro Detergentes SAAM, se decidió conservar el valor relevado para la corriente proveniente de las etapas de curtido y recurtido (ver Tabla 4).

Tabla 8: Principales contaminantes presentes en el efluente cloacal de *Encuerado*.

Parámetro	Valores relevados en bibliografía			Valor adoptado
	[56]	[78]	[47]	
DQO (g/m ³)	250 - 430 - 800	230 - 455 - 910	500 - 750 - 1200	750
DBO (g/m ³)	110 - 190 - 350	100 - 200 - 400	230 - 350 - 560	350
SST (g _{SST} /m ³)	120 - 210 - 400	100 - 240 - 360	250 - 400 - 600	360
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	12 - 25 - 45	8 - 20 - 35	20 - 45 - 70	35
NTK (g _N /m ³)	20 - 40 - 70	16 - 40 - 75	30 - 60 - 100	60
Fósforo total (g _P /m ³)	4 - 7 - 12	4 - 8 - 15	6 - 15 - 25	10
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	20 - 30 - 50	-	-	30
pH (upH)	-	-	7 - 7.5 - 8	7.5
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	30 - 50 - 90	21 - 42 - 83	-	50
Grasas SSEE (g/m ³)	50 - 90 - 100	5 - 20 - 40	-	70
Detergentes SAAM (g/m ³)	-	-	-	60 (*)

(*) Se adoptó la misma concentración de Detergentes SAAM que para la etapa de curtido y recurtido (ver Tabla 4).

Caudal de generación del efluente cloacal

Para estimar el caudal de generación de efluentes cloacales (Q_{clo}), se tuvo en cuenta la contribución vinculada al consumo de agua por parte de los empleados de la empresa, desestimando el aporte asociado a la entrada de aguas por infiltración en la red cloacal. Este último se consideró despreciable, debido a la proximidad entre las fuentes de generación de aguas cloacales y la planta donde serán tratadas. Los parámetros utilizados en el cálculo de Q_{clo} , se presentan a continuación:

- El número de empleados de la firma *Encuerado*, contemplando la incorporación proyectada de nuevo personal.
- El consumo de agua de los empleados (C_{agua}), sin considerar el agua de lavado de las instalaciones o la utilizada como insumo dentro del proceso productivo.
- Un coeficiente de retorno (C_{ret}), el cual representa la relación entre generación de efluentes cloacales y consumo de agua.

- Un coeficiente pico (C_p), el cual permite conocer la máxima generación de efluentes cloacales, a partir de considerar la variabilidad diaria y horaria del mismo.

El consumo diario de agua, el coeficiente de vuelco y el coeficiente pico, fueron adoptados de un relevamiento bibliográfico, el cual se expone a continuación. Se tomaron valores promedio para cada parámetro relevado, excepto para C_p , en el cual se otorgó mayor jerarquía a la referencia [1] por tratarse de información local.

Tabla 9: Consumo de agua, coeficiente de vuelco y coeficiente pico, adoptados para el cálculo del caudal de generación de efluentes cloacales de *Encuerado*.

Parámetro	Valor bibliográfico	Ref.	Valor adoptado
Consumo de agua	100 l/hab/día, para personal de instalaciones comerciales que requieren de aseo continuo	[61]	90 l/hab/día
	80 l/hab/día, para empleados de bodegas, fábricas y almacenes	[92]	
Coeficiente de retorno	0.80 m ³ efluente cloacal / m ³ agua consumida	[1]	0.80 m ³ efluente cloacal / m ³ agua consumida
	0.80 m ³ efluente cloacal / m ³ agua consumida	[92]	
Coeficiente pico	1.66, para el Área Metropolitana de Buenos Aires	[1]	1.66
	2.17, para la Zona Metropolitana de Guadalajara	[92]	

Considerando un total de 30 empleados, trabajando de lunes a viernes, de 8:00 a 17:00 h, el caudal de generación de efluente cloacal pudo obtenerse con las siguientes ecuaciones:

$$[\text{Ec. 3}] \quad Q_{clo\ d} = \text{Empleados} * \frac{C_{agua}}{1000} * C_{ret}$$

$$[\text{Ec. 4}] \quad Q_{clo\ h} = Q_{clo\ d} * \frac{1\ \text{día}}{9\ \text{horas hábiles}}$$

$$[\text{Ec. 5}] \quad Q_{clo\ h\ max} = Q_{clo\ h} * C_p$$

Donde:

- $Q_{clo\ d}$ [m³/d]: Caudal de generación de efluente cloacal diario medio - **2.16 m³/d**.
- $Q_{clo\ h}$ [m³/h]: Caudal de generación de efluente cloacal horario medio - **0.24 m³/h**.
- $Q_{clo\ h\ max}$ [m³/h]: Caudal de generación de efluente cloacal horario pico - **0.40 m³/h**.
- Empleados: Cantidad de empleados de la empresa analizada - 30 empleados.
- C_{agua} [l/hab/día]: Consumo de agua de la empresa analizada, vinculada al personal (no considera el proceso productivo) - 90 l/hab/día.
- C_{ret} [m³ efluente cloacal/m³ agua consumida]: Coeficiente de retorno, el cual expresa la relación entre el caudal cloacal generado y el agua consumida - 0.80 m³/m³.
- C_p : Coeficiente pico, el cual permite conocer la máxima generación de efluentes cloacales, a partir de considerar la variabilidad diaria y horaria del mismo - 1.66.

Se adoptó una distribución normal en la generación horaria de efluente cloacal, de acuerdo a lo expuesto por Metcalf & Eddy [56]. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10 y la Figura 11. Como condiciones de contorno, se consideró:

- El valor máximo es al mediodía y coincide con el caudal pico calculado (0.40 m³/h).
- El valor promedio coincide con el caudal horario medio calculado (0.24 m³/h).
- Los resultados obtenidos se consideran representativos de una jornada laboral típica en *Encuerado*.

Tabla 10: Generación horaria de efluente cloacal por la empresa *Encuerado*. Valores obtenidos considerando una distribución normal con máximo al mediodía. El Total diario fue calculado como la suma de los valores horarios (de 8:00 a 17:00 h).

Horario	Qclo (m ³ /h)
8:00 a 9:00	0.09
9:00 a 10:00	0.19
10:00 a 11:00	0.34
11:00 a 12:00	0.40
12:00 a 13:00	0.34
13:00 a 14:00	0.24

Horario	Qclo (m ³ /h)
14:00 a 15:00	0.20
15:00 a 16:00	0.20
16:00 a 17:00	0.16
Promedio	0.24 m ³ /h
Total diario	2.16 m ³ /día

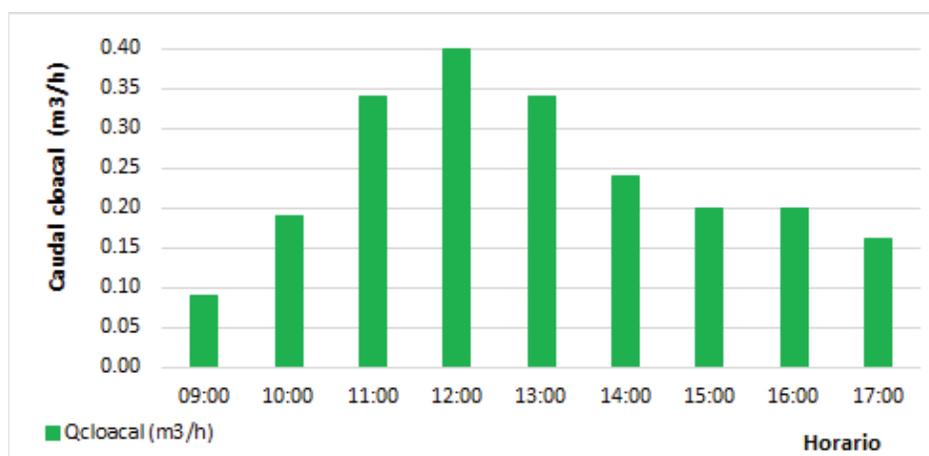


Figura 11: Distribución horaria de la generación de efluentes cloacal de la empresa *Encuerado* (verde).

Legislación ambiental aplicable

La curtiembre *Encuerado* vierte sus efluentes líquidos en la red cloacal local, la cual se conecta con la Planta depuradora AySA Lanús. Considerando esto, se buscó adecuar las aguas residuales de la empresa para lograr un vuelco a colectora cloacal, en concordancia con los requisitos establecidos por la normativa ambiental pertinente (ver Tabla 11).

En el partido de Lanús coexisten diferentes entes reguladores que establecen límites de concentración para el vuelco de los efluentes industriales, encontrándose entre ellos la Autoridad de cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR), la Autoridad del Agua de la Provincia de Bs. As. (ADA), y la empresa Agua y Saneamientos Argentinos (AySA). El diseño de la planta de tratamiento de efluentes líquidos se realizó en concordancia con los límites de concentración más restrictivos para colectora cloacal, considerando únicamente aquellos parámetros vinculados con el proceso productivo de *Encuerado* y para los cuales se hayan encontrado valores bibliográficos (ver Tabla 4 y Tabla 5). La recopilación de los diferentes límites de vuelco para efluentes líquidos a colectora cloacal, se presentan en el Anexo II.

Tabla 11: Límites de vuelco a colectora cloacal, considerados para el diseño de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la empresa Encuerado. Normativa de referencia: Rs. ACUMAR N° 283/19 y Rs. ADA N° 336/03.

Parámetro	Límite adoptado	Parámetro	Límite adoptado
DQO (g/m ³)	≤ 700	Fósforo total (g _P /m ³)	≤ 10
DBO (g/m ³)	≤ 200	Sulfato (g _{SO4} /m ³)	≤ 1000
SST (g _{SST} /m ³)	NE	pH (upH)	7.0 a 10
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	≤ 2.0	Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	NE
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	≤ 75	Grasas SSEE (g/m ³)	≤ 100
NTK (g _N /m ³)	≤ 105	Detergentes SAAM (g/m ³)	≤ 10

NE: No se establecen límites a ese parámetro en ese tipo de vertido.

Nota: Como resultado del proceso de adecuación de los efluentes líquidos se genera una fracción de rechazo (barros o lodos), la cual debe ser tratada y dispuesta siguiendo los requisitos establecidos por la normativa ambiental pertinente. En el caso del presente PFI, la gestión de lodos fue concebida en concordancia con los lineamientos establecidos en la Ley provincial N° 11.720/95 de gestión de residuos especiales (en línea con la Ley nacional 24.051/91). Para el caso particular de los lodos mixtos sin contenido de cromo, también se utilizó como referencia la Resolución nacional N° 410/18 de manejo de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes cloacales y mixtos.

Emisiones gaseosas

Identificación de las fuentes de emisiones gaseosas

La actividad industrial de la firma *Encuerado* genera emisiones gaseosas que contienen contaminantes químicos (ver Tabla 12). Los compuestos emitidos se pueden resumir en: Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), Material Particulado (MP), sulfuro de hidrógeno (H₂S), amoníaco (NH₃) y compuestos con bajo umbral de olor [14] [18] [39] [107] [115].

- Las emisiones de **compuestos orgánicos volátiles** se asocian a la volatilización de solventes orgánicos usados en la terminación del cuero. Dentro de esta etapa, los mayores focos de generación son la cabina de pintado, el túnel de secado, y la zona de transición entre ambas (zona de oreo o *flash off*).
Dependiendo de los productos de terminación aplicados, se liberarán diferentes COVs al aire del ambiente laboral. Siendo que la firma utiliza mayoritariamente metanol, metiletilcetona (MEK), tolueno y xileno como solventes orgánicos, los mismos se constituyen como las principales emisiones a la atmósfera durante el proceso de aplicación y secado de productos de terminación.
- Las emisiones de **material particulado** provienen de las máquinas de pulido, debido al cepillado repetido del cuero. Puesto que *Encuerado* realiza un proceso de curtido al cromo, estas emisiones contienen cromo trivalente (Cr-III).
También se libera material particulado debido a la manipulación y almacenamiento de reactivos en polvo (por ejemplo, el sulfato de cromo), y se generan emisiones de aerosoles de pintura, durante las etapas de pintado mediante aplicación por spray.
- La generación de **sulfuro de hidrógeno** se vincula a los fulones de piquelado. Esto se debe a que las pieles entran en contacto con soluciones ácidas, pudiendo liberar sulfuros remanentes empleados durante el depilado (etapa en la que se somete a la piel a un ataque químico con cal y sulfuro de sodio para extraer el pelo).
- Las emisiones gaseosas de **amoníaco** al aire del ambiente laboral pueden ocurrir en la máquina de secado por *Toggling*, producto de la utilización de amoníaco en solución como aditivo durante la etapa de engrasado y tintura.
- Las curtiembres están vinculadas a la emisión de **compuestos con bajo umbral de olor**, entendiendo a los mismos como aquellas sustancias que se detectan con el sistema olfativo a bajas concentraciones, del orden de las partes por millón (ppm) o billón (ppb). La emisión de estos compuestos y sus mezclas complejas, contribuyen a la problemática de molestias por olores en calidad de aire exterior.
La generación de compuestos con bajo umbral de olor está asociada a la manipulación y acopio de materia orgánica. Malas prácticas de operación pueden ocasionar que las pieles y los residuos orgánicos comiencen a descomponerse, emitiendo sustancias como sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, ácidos carboxílicos y aminas. Se señala la manipulación de pieles no refrigeradas, el estancamiento de efluente líquido conteniendo carga orgánica, y la acumulación de grasas y otros restos orgánicos en rejillas/canales de desagüe y en volquetes para disposición.

Tabla 12: Resumen de compuestos químicos gaseosos generados, según la etapa del proceso productivo de la empresa *Encuerado*. Ref.: [14] [18] [39] [107].

Emisiones gaseosas	Foco de generación	Observaciones
Material particulado (MP)	Máquinas pulidoras	Se generan emisiones de MP en suspensión con contenido de cromo, composición propia del cuero curtido
	Manipulación de productos químicos en polvo	En la etapa de curtido, la operación de adición de sales de cromo al fulón representa una potencial fuente de emisión de MP en suspensión, con contenido de cromo (III).
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Cabina de pintado	A partir de la utilización de pinturas y desengrasantes en base a solventes orgánicos.
	Túnel de secado	
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	Fulones para piquelado y curtido	Los sulfuros remanentes en las pieles, provenientes de la operación de depilado, se liberan como H ₂ S (g).
Amoníaco (NH ₃)	Máquina de secado por <i>Toggling</i>	Asociado a la utilización de NH ₃ (sc.) como aditivo durante la etapa de coloración.
Compuestos con bajo umbral de olor (H ₂ S, aminas, y amoníaco)	Sitios de acopio y manejo de materia orgánica	El acopio de materia prima (pieles crudas) no refrigerada, como así también restos de materia orgánica dentro de planta, se conforman como potenciales fuentes de emisión de olores (asociadas con la generación de H ₂ S y aminas).
CO ₂ , CO, NO _x , y otros gases de combustión	Calderas	Gases de combustión presentes en los gases de escape de calderas que operan con gas natural.

Las emisiones gaseosas impactan tanto el aire del ambiente laboral, como así también en la calidad del aire exterior a nivel de inmisión. Los sistemas de ventilación industrial resultan de especial relevancia para la captación y el control de las fuentes de generación de compuestos químicos gaseosos, resguardando a su vez la exposición de los trabajadores en el ambiente laboral. En el presente Proyecto Final Integrador, se buscó diseñar un sistema de captación y tratamiento para las emisiones gaseosas vinculadas al desprendimiento de partículas de cuero durante la etapa de pulido y al uso de solventes orgánicos durante la etapa de terminación, considerando las mismas como aquellas con mayor potencial de impactar sobre la salud de los trabajadores debido a la magnitud de su tasa de emisión y a la cercanía entre los operarios y las fuentes de emisión.

Caracterización de las emisiones de material particulado

La caracterización física del material particulado emitido por *Encuerado* durante la etapa de pulido se realizó en base a un relevamiento bibliográfico, a partir del cual se adoptó la tasa de generación (T_{MP}), la densidad media (D_{MP}) y la distribución de tamaños de las partículas (ver Tabla 13 y Figura 12). Siguiendo un enfoque conservador, para cada parámetro se seleccionó un valor dentro de los rangos recopilados y mayor al promedio aritmético.

Con respecto a su composición, el polvo de pulido puede contener cromo (III) en un rango de 28-47 mg Cr-III/g [42] [90]. Sin embargo, puesto que los sistemas de tratamiento más utilizados para este tipo de emisiones se basan en la retención mecánica del contaminante, basta conocer las características físicas de las partículas emitidas para el diseño de estos sistemas de retención. Se mencionan ciclones, filtros bolsa y placas de impacto [2] [14] [32].

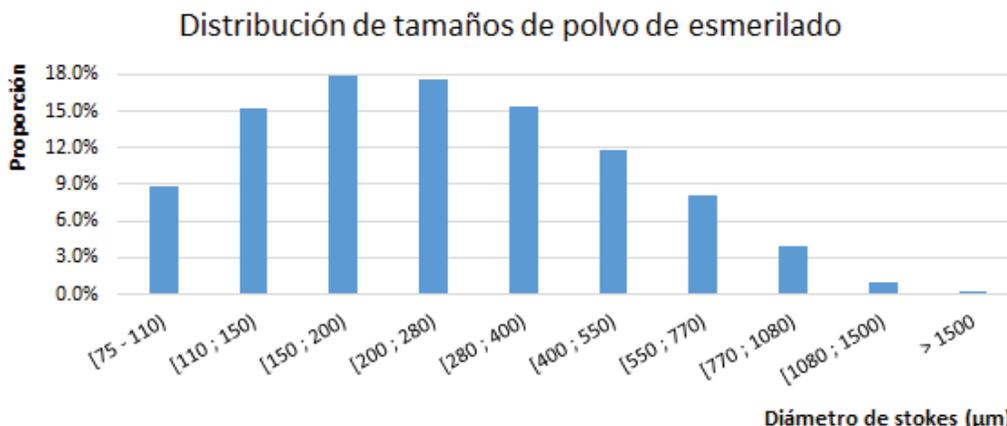


Figura 12: Distribución de tamaños del MP emitido en la etapa de pulido (diámetro de Stokes). Ref.: [42].

Tabla 13: Tasa de generación y densidad del MP emitido durante la etapa de pulido.

Parámetros	Valores relevados en bibliografía				Valor adoptado
	[14]	[88]	[90]	[42]	
Generación MP (kg/t _{cuero})	2 - 10	2 - 6	2 - 6	2 - 6	5.0
Densidad MP (g/cm ³)	-	0.77 - 1.19	0.98	-	0.98

A partir de la información relevada y contemplando una producción de 70 t de cueros vacunos por semana, se calculó la emisión de material particulado promedio esperada para la etapa de pulido (MP_{gen}). La expresión utilizada se muestra a continuación:

$$[Ec. 6] \quad MP_{Gen} = T_{MP} * P * \frac{1 \text{ semana}}{5 \text{ días hábiles}} * \frac{1 \text{ día}}{9 \text{ horas hábiles}}$$

Donde:

- MP_{gen} [kg/h]: Emisión media de polvo al aire del ambiente laboral, expresada como Material Particulado Total, vinculada a la operación de las dos pulidoras - **7.8 kg/h**.
- T_{MP} [kg/t_{cuero}]: Cantidad de polvo liberado por tonelada de cuero pulido - 5.0 kg/t_{cuero}.
- P [t_{cuero}/sem]: Producción media de cueros vacunos (semanal) - 70 t_{cuero}/sem.

Caracterización de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Las emisiones de COVs vinculadas a las operaciones de revestimiento de superficie, para una instalación no controlada con un sistema de ventilación, pueden estimarse suponiendo

que todos los solventes orgánicos presentes en los productos aplicados serán emitidos al aire del ambiente laboral [103]. Es así que para estimar las emisiones de COVs generadas por *Encuerado* durante la etapa de terminación, asociadas a la cabina de pintado y túnel de secado, se comenzó por caracterizar el uso de solventes y productos de terminación:

- Se adoptó la cantidad de productos de terminación aplicada por unidad de superficie de cuero (PT_{cuero}) y la proporción de solventes orgánicos presentes en dichos productos (SV), a partir de un relevamiento bibliográfico (ver Tabla 14). Se tomaron valores promedio, excepto para PT_{cuero} , en el cual se utilizó un enfoque conservador.
- Se contempló una producción de 70 t de cueros vacunos/semana, con un tamaño promedio de 4.2 m² por cuero procesado (considerando un peso de 28 kg/cuero, la producción puede traducirse en 500 unidades por día hábil) [14]. Se asumió que a la totalidad de artículos manufacturados se les aplica una capa de terminación.

Tabla 14: Caracterización de los productos de terminación y solventes utilizados durante la etapa de terminación.

Parámetros	Valores relevados en bibliografía			Valor adoptado
	[14]	[103]	[106]	
Uso de productos de terminación (g/m ²)	60 - 250	-	90	220
Densidad media de los productos de terminación (kg/l)	-	0.92	-	0.92
Contenido de solventes (% v/v)	> 75	70 - 85	75 - 95	80
Densidad media solventes (kg/l)	-	0.88	-	0.88

A partir de la información relevada en la Tabla 14, se calculó la emisión de COVs promedio esperada para la etapa de terminación, asociadas a la cabina de pintado y túnel de secado:

$$[\text{Ec. 7}] \quad \text{Uso PT} = PT_{cuero} * \text{Sup}_{cuero} * P * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$[\text{Ec. 8}] \quad \text{COV}_{gen} = \left(\frac{\text{Uso PT} * 1 \text{ día}}{9 \text{ horas hábiles}} \right) * \left(\frac{\text{SV}}{100} \right) * \left(\frac{\text{Dsv}}{\text{Dpt}} \right)$$

Donde:

- Uso PT [kg/d]: Uso de productos de terminación diario medio - **462 kg/d**.
- COV_{gen} [kg/h]: Emisión promedio de solventes orgánicos al aire del ambiente laboral, vinculado a la operación de la cabina de pintado y el túnel de secado, expresado en términos de COVs totales (COVT) - **39.3 kg/h**.
- PT_{cuero} [g/m²]: Cantidad estimada de productos de terminación aplicada por unidad de superficie de cuero - 220 g/m².
- Sup_{cuero} [m²]: Tamaño promedio de los cueros manufacturados - 4.2 m².
- P [unidades/d]: Producción media de cueros vacunos - 500 cueros/d.

- D_{SV} [kg/l]: Densidad media de los solventes utilizados - 0.88 kg/l.
- D_{PT} [kg/l]: Densidad media de los productos de terminación aplicados - 0.92 kg/l.
- SV [% v/v]: Proporción media de solventes orgánicos presente en los productos de terminación empleados - 80 %.

El valor obtenido para COV_{gen} resultó comparable con los rangos reportados por bibliografía, para curtiembres que utilizan productos de terminación conteniendo solventes orgánicos: 50 kg/h de COVs [14]; 10-55 kg/h de COVs [106].

Nota: Dado que *Encuerado* utiliza metanol, metiletilcetona, tolueno y xileno como solventes orgánicos, se consideró que los COVs emitidos están conformados por dichos compuestos.

Nota: Todos los solventes adquiridos por separado, por ejemplo, utilizados para diluir los productos de terminación hasta los requerimientos específicos de cada artículo producido, también representan una fuente de emisión de COVs [103]. Sin embargo, se consideró que dichos solventes deben acopiarse en un almacén con un sistema de ventilación general concebido para tal fin, cuyo diseño escapa el alcance del presente Proyecto Final Integrador. Por este motivo, dichas emisiones no fueron consideradas para el diseño del sistema de ventilación y tratamiento de emisiones gaseosas para la etapa de terminación.

Legislación ambiental aplicable

El diseño del sistema de ventilación y tratamiento de emisiones gaseosas debe habilitar a la empresa *Encuerado* para obtener la Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA), según lo establecido en el Decreto N° 1074/18 del OPDS. En línea con este punto, se debe realizar una estimación del impacto en la calidad del aire exterior de las emisiones gaseosas que provengan del sistema de ventilación industrial, mediante la aplicación de modelos matemáticos que simulen el comportamiento de los contaminantes químicos en la atmósfera y su impacto en los receptores (modelos de dispersión atmosférica).

El procedimiento para la aplicación de modelos de dispersión atmosférica se detalla en el Anexo III de la Resolución N° 559/19 de OPDS. Dicho anexo contiene un instructivo constituido por etapas progresivas y definitorias, cuyo objetivo es la aplicación de modelos de complejidad creciente en la medida que las situaciones lo requieran:

- **Etapas I** de sondeo simple: Se utiliza para determinar de manera aproximada las concentraciones de contaminantes en aire, bajo condiciones desfavorables. Si las concentraciones totales (la suma entre las calculadas y la concentración de fondo) no superan el 30% de los valores establecidos como Normas de Calidad de Aire en

el Decreto N° 1074/18 de la Provincia de Bs. As. y resoluciones complementarias, el proceso de cálculo está completo. En caso contrario, debe aplicarse la Etapa II

- **Etapa II** de sondeo detallado: Tiene los mismos objetivos que la Etapa I, pero con una metodología de cálculo más compleja. Si las concentraciones totales no superan el 50% de los valores establecidos como Normas de Calidad de Aire en el Decreto N° 1074/18 de la Provincia de Bs. As. y resoluciones complementarias, el proceso de cálculo está completo. En caso contrario, debe aplicarse la Etapa III
- **Etapa III** de modelación detallada: Tiene los mismos objetivos que las etapas anteriores, pero en ella es necesario aplicar modelos más detallados e información meteorológica horaria. Si las concentraciones totales no superan los valores establecidos como Normas de Calidad de Aire en el Decreto N° 1074/18 y normas complementarias, el proceso de cálculo está completo. En caso contrario, se debe presentar un cronograma de adecuaciones y correcciones ante este escenario.

En el presente Proyecto Final Integrador, se realizó un sondeo **Etapa I** para los compuestos presentados en la Tabla 15. Se consideraron solamente aquellos contaminantes químicos captados y tratados en el sistema de ventilación industrial propuesto, que pudieran ser cotejados con el Decreto N° 1074/18 del OPDS.

Tabla 15: Contaminantes captados y tratados en el sistema de ventilación industrial propuesto para la empresa *Encuerado*, junto con los valores límite utilizados para cotejar los resultados de las Etapas establecidas por la Resolución N° 559/19.

Contaminante	Valor límite adoptado (*)	Tiempo promedio	Tipo de límite
MP10	≤ 0.150 mg/Sm ³	24 horas	Estándar en calidad de aire
	≤ 0.050 mg/Sm ³	1 año	
Metanol	≤ 3.100 mg/Sm ³	8 horas	Nivel guía de calidad de aire
Metilcetona (MEK)	≤ 0.390 mg/Sm ³	24 horas	Nivel guía de calidad de aire
Tolueno	≤ 1.400 mg/Sm ³	8 horas	Nivel guía de calidad de aire
Xileno	≤ 5.200 mg/Sm ³	8 horas	Nivel guía de calidad de aire

(*) Valores referidos a condiciones estándares de temperatura y presión (CSPT) (25°C y 1 atmósfera).

Nota: Se considera que la curtiembre *Encuerado* no genera emisiones relevantes de material particulado con tamaño menor a 2.5 µm (ver Figura 12). De esta forma, si bien el Decreto N° 1074/18 también establece un estándar en calidad de aire para MP2.5, el mismo no fue tenido en cuenta durante la realización del sondeo Etapa I.

Nota: La Rs. N° 002/2007 de ACUMAR también establece estándares de calidad de aire para MP10, los cuales coinciden con los valores reportados en el Decreto N° 1074/18.

Nota: La Rs. N° 295/03 de Higiene y Seguridad en el Trabajo establece Concentraciones Máximas Permitidas (CMP) para metanol (200 ppm), isómeros de xileno (100 ppm), tolueno (50 ppm), MEK (200 ppm) y compuestos de Cr-III (0.5 mg/m³), considerando un período de exposición de 8 horas. También establece Concentraciones Máximas Permisibles en Cortos Períodos de Tiempo (CMP-CPT) para metanol (250 ppm), isómeros de xileno (150 ppm) y MEK (300 ppm), considerando una exposición de 15 minutos. Por lo expuesto, resulta necesaria la implementación de un sistema de ventilación localizada que permita captar los contaminantes mencionados en el foco de generación, antes de distribuirse en el aire del ambiente laboral, y posteriormente difundirse al exterior de la planta.

Presentación de las posibles soluciones técnicas

Alternativas para el tratamiento de los efluentes líquidos

Se concibieron **dos posibles sistemas** para adecuar los efluentes líquidos generados por *Encuerado*, que aseguran un vuelco compatible con los valores recopilados en la Tabla 11. Su diseño contempló una operación en continuo y cuatro instancias de tratamiento:

- **Pretratamiento:** Tiene por objetivo preparar al efluente para ser tratado en etapas posteriores. Contempla la remoción de sólidos gruesos y la nivelación del efluente.
- **Tratamiento primario:** Busca eliminar parte de los sólidos y la materia orgánica en suspensión de los efluentes, mediante el empleo de técnicas físicas y químicas.
- **Tratamiento secundario:** Se busca minimizar los contaminantes disueltos en las aguas residuales, por la aplicación de procesos biológicos.
- **Tratamiento de lodos:** Se busca minimizar el volumen y garantizar una adecuada disposición final de los lodos generados durante el tratamiento de efluentes líquidos.

Adicionalmente, ambas alternativas consideraron una separación inicial de las corrientes a tratar, basada en la caracterización realizada sobre los efluentes líquidos de la firma: curtido y recurtido, terminación, y cloacales. Dicha segregación permitió el diseño de un tratamiento específico para cada línea, con ventajas en términos de la eficiencia de remoción de contaminantes alcanzada. También permitió una gestión discriminada de los lodos generados (tratamiento y disposición final), en función de su contenido de cromo [14] [39].

Las alternativas de tratamiento propuestas se muestran en la Figura 13 y la Figura 14, y se resumen en el Anexo III. Se distinguen con colores las etapas asociadas a: la adecuación de los efluentes de curtido y recurtido (azul) y de terminación (violeta); las instancias con

procesos biológicos e ingreso de efluente cloacal (verde); el tratamiento de lodos con cromo (rojo) y sin cromo (naranja). En los incisos siguientes, se incluye una descripción de las distintas unidades consideradas.

Alternativa 1

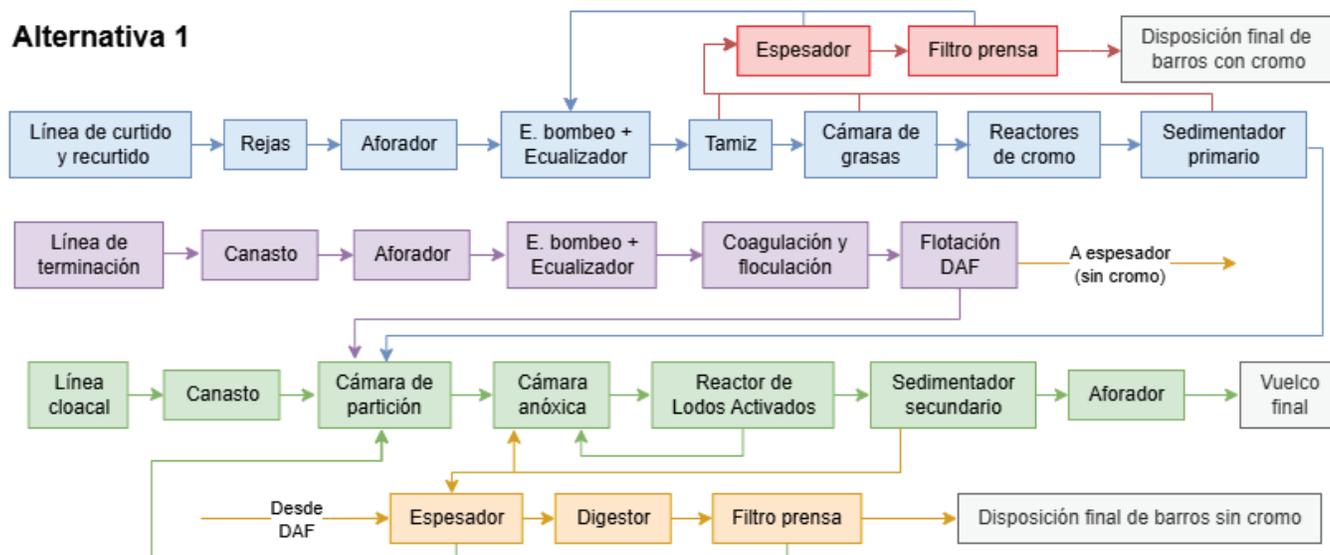


Figura 13: Diagrama de bloques de la alternativa #1 propuesta para tratar los efluentes líquidos de *Encuerado*.

Alternativa 2

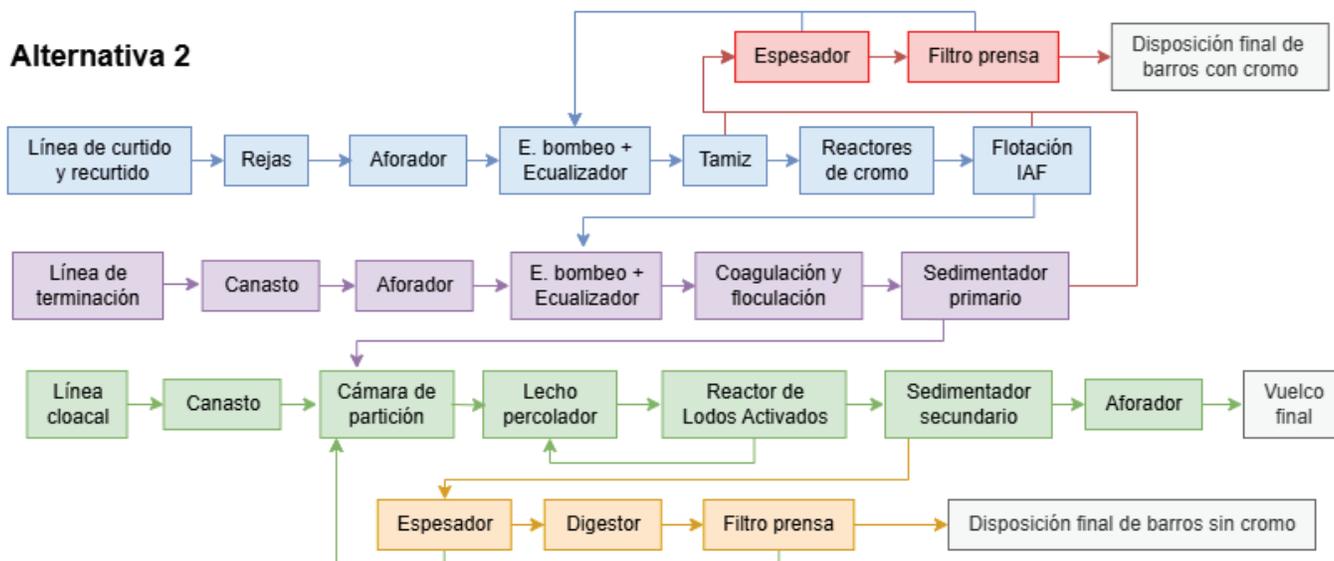


Figura 14: Diagrama de bloques de la alternativa #2 propuesta para tratar los efluentes líquidos de *Encuerado*.

Pretratamiento

Sistema de desbaste

Un sistema de **desbaste** busca retener sólidos gruesos que puedan ser arrastrados por una corriente de efluentes líquidos. Su fin último es evitar obstrucciones en cañerías y válvulas, y prevenir daños a equipos de bombeo y unidades de tratamiento posteriores [56] [65].

Se propuso instalar dispositivos de desbaste como primeras unidades del pretratamiento de las líneas de efluentes considerados, para las alternativas de tratamiento #1 y #2. Las unidades con esta función se localizaron manteniendo un orden decreciente con respecto al tamaño de sólidos que son capaces de retener (de grueso a fino). Se mencionan:

- **Rejas:** Conjunto de barrotos metálicos, paralelos entre sí, montados sobre un canal. Se clasifican de acuerdo con la separación de sus barras, siendo gruesas (5-15 cm), medias (1.5-5.0 cm) o finas (< 1.5 cm) [65]. Se proyectó su instalación en la línea de curtido y recurtido, para retener sólidos gruesos que puedan ser arrastrados.
- **Canasto:** Recipiente de malla o placa perforada, utilizado para retener los sólidos gruesos que ingresen al mismo. Se proyectó su uso en las corrientes de terminación y cloacal, donde se espera un bajo caudal de efluente líquido a tratar.
- **Tamiz:** Dispositivo de cribado, con aberturas de paso típicas entre 0.2-6.0 mm. Según su principio de funcionamiento, se distinguen tamices estáticos y rotativos, con alimentación interna o externa [56]. Se propuso su instalación en la línea de curtido y recurtido, para la retención de sólidos finos (pelos y restos de grasa).

Unidad de aforo de caudal

La cuantificación del caudal de efluente a tratar es una variable clave en el diseño y la operación de una planta de tratamiento. Dentro de los dispositivos más usados para realizar esta tarea, se menciona el **vertedero de pared delgada**: una placa con abertura de sección conocida (generalmente rectangular o triangular), que se coloca en forma perpendicular a la dirección del flujo canalizado. Según el tipo de abertura, existen diferentes ecuaciones que relacionan el caudal atravesando el dispositivo con la carga sobre el vertedero [67].

En las alternativas #1 y #2, se propuso instalar vertederos de pared delgada sobre las líneas de curtido y recurtido y de terminación, que permitan caracterizar la generación de efluentes de proceso. No se consideró necesaria su instalación sobre la línea de cloacales, debido a su bajo caudal y a su función de suplemento para las unidades de tratamiento biológicas.

Estación de bombeo

Las **estaciones de bombeo** son instalaciones equipadas para transportar fluidos, desde su nivel de succión hasta el de salida. Dentro de una planta de tratamiento, se utilizan como herramienta para el manejo hidráulico del efluente líquido [68] [86].

En ambas alternativas de tratamiento, se contempló la instalación de dos estaciones de bombeo que permitan elevar el efluente hasta la respectiva unidad equalizadora asociada.

El objetivo perseguido fue minimizar el requerimiento de excavaciones asociadas a la instalación de dicho ecualizador, reduciendo costos y evitando la dificultad estructural que representa llevar a cabo construcciones por debajo de la cota de la napa freática (1.5 m para el área de influencia del proyecto) (Ver sección Estudio de Impacto Ambiental).

Tanque ecualizador

Durante la jornada laboral de una empresa se generan efluentes con elevada variabilidad de caudal, pH, temperatura y carga contaminante. La inclusión de un **tanque ecualizador** permite regular el caudal de salida de estas aguas residuales, minimizando variaciones temporales y mejorando la efectividad de tratamientos posteriores [21] [56]. Habitualmente, los componentes de esta unidad comprenden: un tanque capaz de recibir las fluctuaciones horarias del efluente a tratar, sin generar desbordes; un sistema de mezcla y aireación, que permita homogeneizar la carga y evitar condiciones anaeróbicas; un sistema de bombeo; y un sistema para corrección de pH y/o temperatura, en caso de ser necesario [21] [56] [78].

En ambas alternativas de tratamiento presentadas, se proyectó la instalación de un tanque de ecualización sobre las líneas de curtido y recurtido y terminación. De esta forma, se buscó asegurar una alimentación continua y uniforme a las siguientes etapas del sistema.

Tratamiento primario

Reactores de cromo

Siendo que *Encuerado* utiliza sulfato básico de cromo trivalente ($\text{Cr}(\text{OH})(\text{SO}_4)$) como agente curtiente, se consideró que el estado de oxidación predominante del metal en el efluente a tratar es Cr-III. El método recomendado en bibliografía para su remoción es la precipitación química en medio alcalino controlado: utilizando un agente alcalinizante, se busca elevar el pH del efluente hasta un valor entre 7-11, donde la especie predominante del cromo es hidróxido ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) y su solubilidad es mínima (ver Figura 15) [14] [102].

En línea con lo expuesto, se propuso instalar un **reactor de cromo** sobre la línea de curtido, que permita la remoción del metal por precipitación química. Se seleccionó el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) como agente neutralizador de pH, ya que también permite la precipitación de sulfatos y debido a que fue posible encontrar varios casos éxito en su aplicación para la remoción de cromo en efluentes líquidos de curtiembres [14] [58] [59] [82] [102].

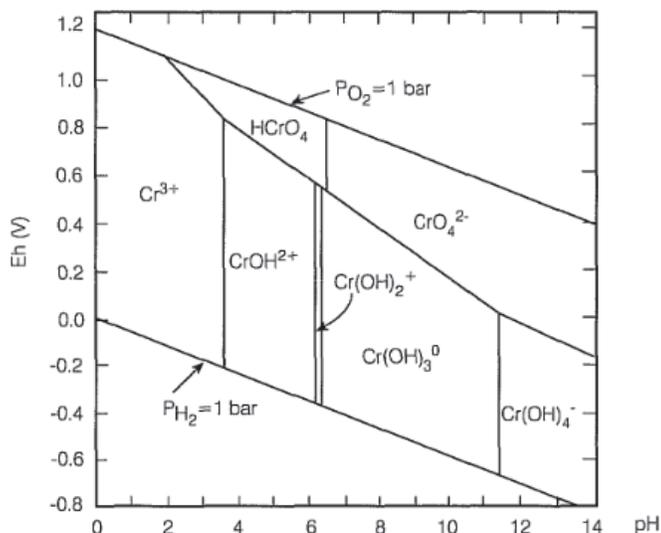


Figura 15: Diagrama de Pourbaix para especies de cromo en solución acuosa. Ref.: [58].

Sistema de coagulación y floculación

Dependiendo de su naturaleza, los contaminantes hallados en un efluente líquido pueden presentarse como suspensiones coloidales, las cuales consisten en partículas de tamaño entre $0.01\text{-}1.00 \mu\text{m}$ y carga superficial generalmente negativa [24]. Estos rasgos confieren a los coloides estabilidad electrostática y resistencia a la aglomeración, requiriéndose aplicar procesos fisicoquímicos de coagulación y floculación para su remoción [48] [56]:

- **Coagulación:** Consiste en la desestabilización de las partículas coloidales por el agregado de coagulantes, los cuales neutralizan su carga negativa superficial.
- **Floculación:** Se busca la formación de aglomerados de mayor tamaño (flóculos) que puedan removerse por otros procesos físicos, como flotación o sedimentación.

En la alternativa de tratamiento #1, se proyectó la instalación de un sistema de coagulación y floculación sobre la línea de terminación, previo a la instancia de flotación. De esta forma, se buscó mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes asociados a los productos empleados durante terminación del cuero, como lacas y resinas (ver Figura 13).

En el caso de la alternativa #2, el sistema de coagulación y floculación propuesto persigue dos objetivos: mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes presentes en la línea de terminación; y asegurar una completa remoción del precipitado de cromo, que pueda ser arrastrado como remanente en la línea de curtido y recurtido (ver Figura 14).

Sedimentador primario

Los **sedimentadores primarios** son una unidad de tratamiento físico, cuyo objetivo es la remoción de partículas con tendencia a la decantación, que por razón de su tamaño o

densidad no pueden ser retenidas en unidades de desbaste. Su principio de funcionamiento se basa en la separación por gravedad, y depende tanto de las propiedades del efluente (densidad, viscosidad, velocidad del flujo, etc.), como de las sustancias a remover (tamaño, peso específico, morfología de las partículas, etc.). Suele incluir una instancia previa de coagulación y floculación, que favorezca los procesos de decantación [21] [36] [56] [109].

Puesto que la bibliografía consultada recomienda la sedimentación como mecanismo para la remoción del cromo precipitado con hidróxido de calcio, se buscó asegurar la presencia de al menos una unidad decantadora en los sistemas de tratamiento propuestos [14] [102]. Así, la alternativa #1 se diseñó con un sedimentador primario en la línea de curtido y recurtido, luego de los reactores de cromo (ver Figura 13). Por su parte, la alternativa #2 se diseñó con un sedimentador luego del sistema de coagulación y floculación, el cual recibe los efluentes de las líneas de terminación y de curtido y recurtido (ver Figura 14).

Cámaras de flotación

Las **cámaras de flotación** se utilizan para separar partículas sólidas o líquidas de baja densidad, que tiendan a emerger en la superficie de la fase que las contiene. Según su funcionamiento, se distinguen unidades de flotación natural o acelerada [21] [56].

Como alternativas de tratamiento, se propuso instalar unidades de flotación para remover la carga de grasas, aceites y otros materiales flotantes, presentes en las aguas residuales de línea de curtido y de terminación. Las unidades proyectadas con esta función fueron:

- **Cámara de grasas:** Unidad de flotación simple, con diseño hidráulico y tiempo de retención adecuados para retener grasas y aceites. Se propuso su instalación en la alternativa #1, como parte del tratamiento primario de la línea de curtido y recurtido (mayor contenido de grasas y aceites). Se localizó antes de los reactores de cromo, para mejorar la eficiencia de precipitación del metal (ver Figura 13) [34] [81] [102].
- **Flotación inducida por aire (IAF):** Unidad de flotación acelerada, en la que se introducen burbujas de aire para asistir la separación de fases [56]. Se propuso su instalación en la línea de curtido y recurtido de la alternativa #2, con el fin de remover conjuntamente aceites, grasas y parte del precipitado de cromo (ver Figura 14).
- **Flotación por aire disuelto (DAF):** Sistema de flotación acelerada, en la que se inyecta aire a presión para asistir el proceso de separación de partículas. Está compuesto por una bomba presurizadora, un compresor de aire, una cámara de saturación, un equipo regulador de presión, y una cámara de flotación [21] [56].

Se propuso la instalación de un sistema DAF en la alternativa #1, luego de la unidad de coagulación y floculación (ver Figura 13). Al recibir solamente los efluentes de la línea de terminación, la unidad puede optimizarse para la remoción de compuestos flotantes presentes en dicha corriente, entre los que se incluyen algunas sustancias recalcitrantes a la oxidación biológica usadas durante las operaciones de acabado.

Tratamiento secundario

Cámara de partición

Se proyectó la instalación de una **cámara de partición**, la cual reciba y mezcle las corrientes tratadas de las líneas de curtido y recurtido y de terminación, así como también las aguas cloacales crudas (ver Figura 13 y Figura 14). De forma similar al tanque equalizador, el objetivo buscado fue homogenizar la carga y el caudal de los efluentes ingresando a dicha cámara, antes de proseguir con el tratamiento biológico secundario.

Reactor de lodos activados (LA)

El tratamiento por **lodos activos** tiene como objetivo remover la materia orgánica disuelta de las aguas residuales, por acción de los microorganismos aeróbicos presentes. En este proceso, los organismos consumen oxígeno para obtener energía y materia orgánica para sintetizar nueva masa celular. Como resultado, los compuestos disueltos son transformados en flóculos de microorganismos, que pueden ser removidos en una etapa posterior [21] [56]. Habitualmente, los componentes de esta unidad comprenden: un tanque (reactor biológico) con equipos de aireación, los cuales transfieren oxígeno a la mezcla y proveen condiciones de mezcla adecuadas; y una instancia de separación física, comúnmente sedimentación, en la que los microorganismos generados son removidos para producir un clarificado, pudiendo recircularse parte de la biomasa separada al reactor biológico [21] [31] [56].

En las alternativas de tratamiento #1 y #2, se propuso la instalación de un reactor LA como principal unidad de remoción de materia orgánica biodegradable disuelta, presente en las corrientes de curtido y recurtido y terminación. En ambos casos, la introducción del efluente cloacal busca aportar nutrientes y flora bacteriana a la unidad.

Lecho percolador

Los **lechos percoladores** son sistemas aerobios de depuración biológica, en los que la oxidación de la materia orgánica se produce al hacer circular aire y agua residual a través de un medio poroso (rocas, piezas de plástico o cerámicas). La materia orgánica y otros contaminantes del efluente son degradados por una película de microorganismos, que se

desarrollan alrededor de los elementos constitutivos de la masa porosa [56] [65]. Los componentes habituales de esta unidad comprenden: un lecho que contiene el medio poroso filtrante, donde se desarrollarán las películas de microorganismos; un sistema de distribución del efluente; un sistema de ventilación que asegure la transferencia de oxígeno; y una instancia de separación física, en la que los microorganismos que se desprendan puedan ser removidos y potencialmente recirculados al lecho [21] [31] [56].

En la alternativa de tratamiento #2, se propuso la instalación de un lecho percolador como unidad previa al reactor LA (ver Figura 14). El objetivo buscado fue lograr una instancia de remoción inicial de los compuestos biodegradables disueltos presentes en las corrientes a tratar, con un menor costo de energía y operación aparejados que el reactor de LA.

Cámara anóxica

La remoción del nitrógeno presente en los efluentes líquidos puede lograrse mediante una secuencia de reacción de nitrificación (oxidación) y desnitrificación (reducción) [21] [56]:

- La **nitrificación** implica la oxidación biológica de amoníaco (NH_3) a nitrato (NO_3^-), con la formación de nitrito (NO_2^-) como producto intermedio. Los microorganismos que llevan a cabo estas reacciones son las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.
- En la **desnitrificación** se utiliza el nitrato (NO_3^-) como receptor final de electrones en condiciones de ausencia de oxígeno principalmente, dando lugar a la formación de nitrógeno molecular gaseoso (N_2). Los microorganismos que llevan a cabo estas reacciones son las bacterias desnitrificantes como las *Pseudomonas* y *Thiobacillus*.

Para lograr la remoción de nitrógeno, se requiere entonces un sistema que permita alternar condiciones anóxicas y aeróbicas. En línea con esto, en la alternativa de tratamiento #1 se propuso la instalación de una **cámara anóxica** previa al reactor LA, junto con un sistema de recirculación de efluentes entre reactores (ver Figura 13). De esta forma, se buscó que en el reactor aeróbico LA ocurra la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación del amoníaco presente en el agua residual, mientras que en la cámara anóxica se da lugar a la desnitrificación del efluente recirculado desde la unidad nitrificante.

Sedimentador secundario

El **sedimentador secundario** se emplea luego de algunos tratamientos biológicos, para separar gravimétricamente la biomasa (lodos) remanente en las aguas residuales. Parte del lodo es purgado al sistema de adecuación de barros, mientras que otra parte es recirculada

a la unidad biológica previa, donde se mezcla con el efluente y permite mantener una concentración de microorganismos en el reactor adecuada para el proceso [48] [56].

En las alternativas de tratamiento presentadas, se propuso la instalación de sedimentador secundario luego del reactor de lodos activados. El objetivo buscado fue captar los flóculos de microorganismos que puedan generarse en dicha unidad, para que luego sean purgados o recirculados nuevamente al LA. En el caso de la alternativa #1, los barros son recirculados a la cámara anóxica, siguiendo una configuración recomendada en bibliografía que busca fomentar el proceso de nitrificación y desnitrificación del efluente (ver Figura 13) [21] [56].

Tratamiento de lodos

El proceso de tratamiento de efluentes genera una fracción de rechazo (barros o lodos), la cual concentra los diferentes contaminantes removidos de las aguas residuales, y que debe ser adecuada previamente a su disposición final. En función de la unidad que genere estos lodos, las características del mismo y las opciones para su tratamiento varían [39] [111].

En ambas alternativas #1 y #2 presentadas, se concibió un tratamiento diferenciado para la corriente de lodos conteniendo cromo y para la de lodos mixtos, conformado en cada caso por las siguientes unidades: espesador, digestor aeróbico y filtro prensa (ver Figura 13 y Figura 14). Además, en ambos casos se consideró un servicio tercerizado de transporte y disposición final. La diferencia entre alternativas radica entonces en las dimensiones de las unidades de tratamiento, las cuales dependen del caudal y características del lodo.

Nota: Debido a su naturaleza de origen, los barros generados por el sistema de tratamiento de efluentes fueron catalogados como un residuo especial categoría Y18, siguiendo la Ley provincial 11.720 de Residuos Especiales. Para el caso de los barros conteniendo cromo, se asignó una característica de peligro H13, debido a la posibilidad de oxidación del Cr-III (estado predominante del metal en el efluente) a Cr-VI (carcinógeno IARC grupo 1) [75]. En el caso de los lodos mixtos sin contenido de cromo, resulta admisible su descategorización como residuo especial, en la medida que se compruebe la ausencia de las categorías de peligro descritas en el Anexo II de la Ley 11.720 [39].

Nota: La bibliografía consultada recomienda la instalación de unidades para la recuperación del cromo contenido en los lodos deshidratados, previo a su disposición final [14] [39] [82] [102]. Si bien el diseño de estas unidades escapa el alcance del presente Proyecto Final Integrador, se propone analizar su inclusión dentro del sistema de tratamiento a instalar.

Espesador

El **espesador** es una unidad de tratamiento físico, con una estructura similar al tanque sedimentador. Su principio de funcionamiento se basa en la separación por gravedad, y su objetivo es reducir el contenido de agua y aumentar la densidad de los barros [111].

En las alternativas de tratamiento presentadas, se proyectó la instalación de un espesador como primera unidad de la línea de barros con y sin cromo, contemplando una recirculación del sobrenadante al equalizador o cámara de partición de la respectiva línea.

Digestor

Los lodos generados en una planta de tratamiento de efluentes son ricos en organismos patógenos, capaces de desarrollar compuestos con bajo umbral de olor. Los procesos de digestión buscan estabilizar la fracción biodegradable de materia orgánica presente en los mismos, reduciendo la concentración de patógenos y el riesgo de putrefacción [110] [111].

Para ambas alternativas de tratamiento #1 y #2, se proyectó la instalación de un **digestor aeróbico** a continuación del espesador de la línea de barros sin cromo. De esta forma, se buscó estabilizar la alta carga de microorganismos en la línea (asociados al sedimentador secundario), aprovechando las condiciones compatibles con el proceso aeróbico que otorga la salida del espesador (concentración de sólidos menor al 5%), y evitando la presencia de inhibidores del crecimiento microbiano (cromo, productos de terminación del cuero, etc.).

Filtro prensa

Los **filtros prensa** se pueden usar como unidad de deshidratación de lodos. Contienen un conjunto de placas, recubiertas con un medio filtrante tal como una lona, y diseñadas para proporcionar una serie de cámaras en las que se pueden retener sólidos. Operan de forma discontinua (*batch*), en un ciclo que puede dividirse en tres etapas: llenado y formación de la torta de sólidos; filtración a máxima presión; y descarga de la torta de sólidos [50] [111].

En las alternativas de tratamiento #1 y #2, se propuso la instalación de un filtro prensa como última unidad de ambas líneas de barros, contemplando la recirculación del sobrenadante a cabeza de planta. Si bien es factible incluir una unidad de acidificación y recuperación del cromo contenido en el deshidratado, esta posibilidad debe analizarse y no es abordada en el presente documento. En su lugar, los barros cromados son dispuestos como residuo especial clase Y18, con característica H13 (Ley prov. N° 11.720). Los lodos restantes son enviados a celdas separadas en rellenos sanitarios, en la medida que sean descatalogados como residuo peligroso, de acuerdo con la Resolución nacional N° 410/18. En ambos casos, se optó por tercerizar su servicio de transporte y disposición final [39] [82] [102].

Nota: Para poder disponer los barros estabilizados en una celda de relleno sanitario, debe garantizarse la ausencia de todas las categorías de peligro descritas en el Anexo II de la Ley provincial N° 11.720. A su vez, los barros deben verificar los valores de referencia para elementos potencialmente tóxicos en biosólidos reportados en la Tabla N° 2 - Anexo II de la Resolución nacional N° 410/18.

Alternativas para el tratamiento de las emisiones gaseosas

Se concibieron **dos alternativas** para captar y tratar las emisiones gaseosas de *Encuerado*, vinculadas al proceso de terminación y pulido del cuero (ver Tabla 16 y Anexo III). Dichos sistemas de ventilación localizada aseguran el cumplimiento de los valores límite a nivel inmisión recopilados en la Tabla 15, considerando la aplicación de un modelo de dispersión atmosférica Etapa I, detallado en la Rs. N° 559/19. Adicionalmente, permiten controlar las fuentes de generación de emisiones gaseosas y minimizar la exposición de los trabajadores a contaminantes químicos en el aire del ambiente laboral.

El diseño de ambos sistemas de ventilación propuestos distinguió tres componentes:

- **Campanas de captación:** Elemento de ingreso del aire al sistema de ventilación. Tiene por objetivo asegurar un flujo de aire que capture eficazmente al contaminante en su foco de generación y lo transporte hacia ella. Su diseño debe permitir una velocidad de control adecuada, minimizando el consumo energético [2] [72]. En ambas alternativas de captación y tratamiento concebidas, se buscó controlar los siguientes sitios de generación de contaminantes: máquinas pulidoras (foco de MP); cabina de pintura y túnel de secado (foco de COVs). Para el primer caso, se propuso el confinamiento y depresión de las máquinas pulidoras. Para el segundo caso, se proyectó la instalación de una campana suspendida sobre la zona *flash off* entre el túnel de secado y la cabina de pintado (ver Figura 19). Se consideró que el túnel de secado cuenta con un sistema prefabricado de captación y tratamiento de las emisiones generadas en el interior de su cuerpo, por lo que no fue considerado en el diseño de los sistemas de ventilación propuestos en el presente PFI.
- **Unidad de tratamiento:** Busca remover contaminantes de interés conducidos, con el fin de reducir y controlar su emisión a la atmósfera [2] [104]. La Tabla 16 presenta dos posibles tratamientos para las emisiones gaseosas generadas por *Encuerado*, las cuales se amplían en incisos posteriores. Dichas unidades se concibieron con un funcionamiento discontinuo, asociado al horario de operación de la planta (lunes a viernes, de 8:00 a 17:00 h).

Tabla 16: Alternativas de tratamiento propuestas para las principales emisiones gaseosas generadas por *Encuerado*.

Etapa del proceso productivo	Contaminantes controlados	Unidad de tratamiento proyectada	
		Alternativa #A	Alternativa #B
Etapa de pulido	Material Particulado fracción MP10	Separador ciclónico	
Etapa de terminación (*)	COVs (expresados como Metanol, Metiletilcetona, Tolueno y Xileno)	Incinerador térmico con recuperación de calor	Adsorción en un lecho fijo con carbón activado

(*) Se considera que la cabina de pintura utilizada por *Encuerado* cuenta con un prefiltro instalado, para la retención de aerosoles. También se considera que el túnel de secado cuenta con un sistema prefabricado de captación y tratamiento de las emisiones generadas en el interior de su cuerpo, por lo que se proyectó la instalación del sistema de tratamiento sobre la zona flash off.

- **Sistema de conducción y extracción:** Su objetivo es llevar el aire contaminado desde las diferentes campanas al punto de descarga, asegurando al mismo tiempo una velocidad de transporte adecuada. Comprende el sistema de conductos de transporte, el ventilador de impulsión, y el conducto de descarga a la atmósfera [72].

Nota: Las emisiones de sulfuro de hidrógeno vinculadas a la apertura de fulones de curtido y piquelado (ver Tabla 12) también deben ser controladas con un sistema de ventilación localizada. Si bien su diseño escapa el alcance del presente PFI, se propone analizar la inclusión de un sistema de aspiración localizado tipo brazo articulado asociado a las compuertas de carga/descarga de los fulones, seguido por una torre de absorción spray con una primera etapa de solución ácida y una segunda de solución oxidante [39].

Nota: El presente PFI no incluye un sistema de control para las emisiones gaseosas de amoníaco que puedan ocurrir durante la etapa de secado por Toggling (ver Tabla 12). En su lugar, se propone analizar la instalación de un sistema de ventilación general mecánico en el galpón de secado, junto con la implementación de modificaciones en el proceso productivo orientadas a minimizar la generación de dicho compuesto. En esta última línea, se menciona el reemplazo de los insumos usados durante la etapa de engrasado y tintura por compuestos químicos exentos de sales de amonio [39].

Adsorción con carbón activado

El **carbón activado** (CA) puede utilizarse en el tratamiento de gases como material para la **adsorción** de COVs: al circular aire a través de un lecho fijo de este material, la fracción afín de los COVs presentes en el gas se adhieren a los poros de su superficie. Luego, los compuestos adsorbidos pueden removerse del CA durante el proceso de regeneración del lecho, el cual involucra un aumento de la temperatura o disminución de la presión [76] [104].

En la alternativa de tratamiento #B se proyectó la utilización de un filtro de carbono activado, para adsorber los COVs generados durante la terminación del cuero.

Incinerador térmico

Muchos de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) liberados durante las operaciones de terminación del cuero pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua, a través de una reacción de combustión mediada por un **incinerador térmico** [32] [104] [106]. Esta unidad utiliza combustible externo (potencialmente mezclado con aire) para llevar la corriente gaseosa a una temperatura adecuada para la combustión, por un tiempo suficiente para permitir la reacción de oxidación. A la vez, la unidad puede utilizar los gases de descarga para precalentar la corriente a tratar en un intercambiador de calor [32] [104] [106].

En la alternativa de tratamiento #A se propuso la utilización de un incinerador térmico con recuperación de calor, para oxidar los COVs generados durante la terminación del cuero.

Ciclón

El **separador ciclónico** se usa para coleccionar material particulado de tamaño medio-grososo de una corriente gaseosa. Su funcionamiento se basa en la impactación inercial generada por una fuerza centrífuga: la corriente de gas ingresa tangencialmente por la parte superior, desciende en espirales hasta el extremo inferior (sección cónica), y egresa por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, impactan en las mismas y deslizan hasta un contenedor inferior [2] [113].

En ambas alternativas de tratamiento propuestas #A y #B, se propuso utilizar un ciclón para la remoción del material particulado generado durante la etapa de pulido del cuero.

Comparación de alternativas

Para seleccionar la alternativa de tratamiento de efluentes líquidos y emisiones gaseosas más adecuada al caso de *Encuerado*, se realizó un análisis de **puntuación ponderada**. Dicho modelo asigna un valor numérico a cada alternativa de tratamiento presentada, en función del grado de cumplimiento para diferentes categorías de evaluación, permitiendo su jerarquización por puntaje. La expresión utilizada en el análisis fue la siguiente:

$$[\text{Ec. 9}] \quad PA_{\#i} = \sum (PCat_j * PAC_{ij})$$

Donde:

- $PA_{\#i}$: Puntaje asignado a la alternativa de tratamiento i.
- $PCat_{\#j}$: Ponderación de la categoría de evaluación j considerada (ver Tabla 17).
- PAC_{ij} : Puntuación de la alternativa i frente a la categoría j. Se asignó un puntaje entre 1-3, en función del grado de cumplimiento considerado (ver Tabla 17).

Se menciona que el análisis ponderado fue realizado previo a la instancia de diseño de cualquier alternativa, y se basa en estimaciones cualitativas e indicaciones bibliográficas.

Tabla 17: Categorías de evaluación, ponderación asignada y grados de cumplimiento, consideradas para el análisis de alternativas.

Categoría	Ponderación		Grados de cumplimiento	
Efectividad del tratamiento	3	Importancia alta	1-3	Un mayor valor indica una mayor efectividad en la remoción de los contaminantes de interés
Espacio requerido (*)	1	Importancia baja	1-3	Un mayor valor indica un menor espacio requerido para la instalación de las unidades proyectadas
Costos estimados de instalación y operación	2	Importancia media	1-3	Un mayor valor indica un menor costo aparejado a la construcción y operación normal de los sistemas
Generación de desechos	2	Importancia media	1-3	Un mayor valor indica una menor producción de barros, considerando también su complejidad ambiental

(*) Siendo que Encuerado es en realidad una firma teórica, se asignó una menor relevancia a la categoría “Espacio requerido”.

Efluentes líquidos

La Tabla 18 presenta los grados de cumplimiento de cada categoría considerada (PAC_{ij}) y las puntuaciones calculadas con la [Ec. 9] ($PA_{\#i}$), para ambas alternativas de tratamiento de efluentes líquidos evaluadas (ver Figura 13, Figura 14 y Anexo III).

Tabla 18: Comparación de las alternativas de tratamiento de efluentes líquidos propuestas para *Encuerado* (ver Anexo III). La ponderación de las categorías de evaluación y sus posibles grados de cumplimiento, se presentan en la Tabla 17.

	Categoría	Grado de cumplimiento asignado	
Alternativa #1	Efectividad del tratamiento	La remoción del cromo precipitado se realiza en el sedimentador primario, recomendado en bibliografía para tal tarea. La configuración del tratamiento también contempla la instalación de una cámara de grasas como unidad de tratamiento previa, la cual permite aumentar la eficiencia del proceso de precipitación y sedimentación del metal [14] [102].	
		Los sistemas de coagulación, floculación y de flotación DAF pueden optimizarse para la remoción de grasas, materiales flotantes y otros contaminantes recalcitrantes a la oxidación biológica, provenientes específicamente de la etapa de terminación. Así, se proyecta una mayor eficiencia de tratamiento para la corriente, en comparación con la alternativa #2.	
		La inclusión de una cámara anóxica permite una alta eficiencia de remoción de nitrógeno, presente mayormente en la corriente de curtido y recurtido.	
	Costos estimados de instalación y operación	Mayor inversión inicial estimada, en comparación con la alternativa #2, vinculada a un mayor número de unidades de tratamiento proyectadas.	
		Principales consumos de energía asociados a: bombas de circulación; sistema de mezcla y aireación de equalizadores, lodos activados y digestor aerobio; sistema de mezcla de cámara anóxica; compresor de aire del sistema DAF; sistema presurizador del filtro prensa.	
		Principales consumos de reactivos asociados a: sistema de coagulación y floculación de la línea de terminación; reactores de cromo de la línea de curtido.	

		Categoría	Grado de cumplimiento asignado	
		Espacio requerido	La estrategia de no mezclar las corrientes hasta la instancia de tratamiento secundario conlleva la instalación de un mayor número de unidades de tratamiento específicas para cada tipo de efluente, en comparación con la alternativa #2.	1
		Generación de desechos	Menor volumen y mayor concentración de los barros conteniendo cromo, en comparación con la alternativa #2. Estas condiciones reducen el costo de su disposición final, y también facilitan la posibilidad de recuperación del metal a partir del lodo deshidratado [39] [102].	3
			Puntaje total asignado	20
Alternativa #2	Efectividad del tratamiento	La remoción del cromo precipitado ocurre en dos instancias, mediante un sistema de flotación inducida por aire (IAF) seguido de un sedimentador primario. No se proyecta una remoción previa de grasas.		2
		El sistema de coagulación y floculación debe ajustarse para tratar una mezcla de corrientes, reduciendo su eficiencia en la remoción de contaminantes específicos de la etapa de terminación, en comparación con la alternativa #1.		
		La instalación de una cámara de flotación IAF permite una mayor eficiencia de remoción de grasas y materiales flotantes en la línea de curtido, en comparación con la alternativa #1.		
		La inclusión de un lecho percolador permite una alta eficiencia de remoción de DBO.		
	Espacio requerido	El tratamiento en conjunto de las corrientes de curtido, recurtido y terminación, permite resumir unidades de adecuación. De esta forma, se estima un menor requerimiento de superficie para su instalación, en comparación con la alternativa #1.		2
		Al no contar con una unidad específica para remover nitrógeno, el tratamiento secundario debe diseñarse para la remoción de compuestos orgánicos y nitrogenados. Por este motivo, sus dimensiones pueden ser mayores en comparación con las de la alternativa #1.		
	Costos estimados de instalación y operación	Menor inversión inicial estimada, en comparación con la alternativa #1, vinculada a un menor número de unidades de tratamiento proyectadas.		2
		Principales consumos de energía asociados a: bombas de circulación; sistema de mezcla y aireación de equalizadores, lodos activados y digestor aerobio; soplador de aire del sistema IAF; sistema presurizador del filtro prensa.		
		Principales consumos de reactivos asociados a: sistema de coagulación y floculación de las líneas de curtido y recurtido y terminación; reactores de cromo de la línea de curtido.		
	Generación de desechos	La mezcla de corrientes de curtido y recurtido y terminación genera un mayor volumen de barros conteniendo cromo, en comparación con la alternativa #1. Esto también reduce la concentración del metal en los lodos, dificultando la posibilidad de su recuperación [39] [102].		2
			Puntaje total asignado	16

A partir de los resultados presentados, se concluyó que el tratamiento más adecuado para el caso de *Encuerado* es la alternativa #1, a la cual se le asignó un puntaje total de 20. En las secciones posteriores del presente documento, se incluye la memoria descriptiva y la memoria de cálculo de este sistema de adecuación de efluentes líquidos.

Emisiones gaseosas

La Tabla 19 presenta los grados de cumplimiento de cada categoría considerada (PAC_{ij}) y las puntuaciones calculadas con la [Ec. 9] ($PA_{\#i}$), para ambas alternativas de captación y tratamiento de emisiones gaseosas evaluadas (ver Tabla 16 y Anexo III).

Tabla 19: Comparación de las alternativas de captación y tratamiento de emisiones gaseosas propuestas para *Encuerado* (ver Anexo III). La ponderación de las categorías de evaluación y sus posibles grados de cumplimiento, se presentan en la Tabla 17.

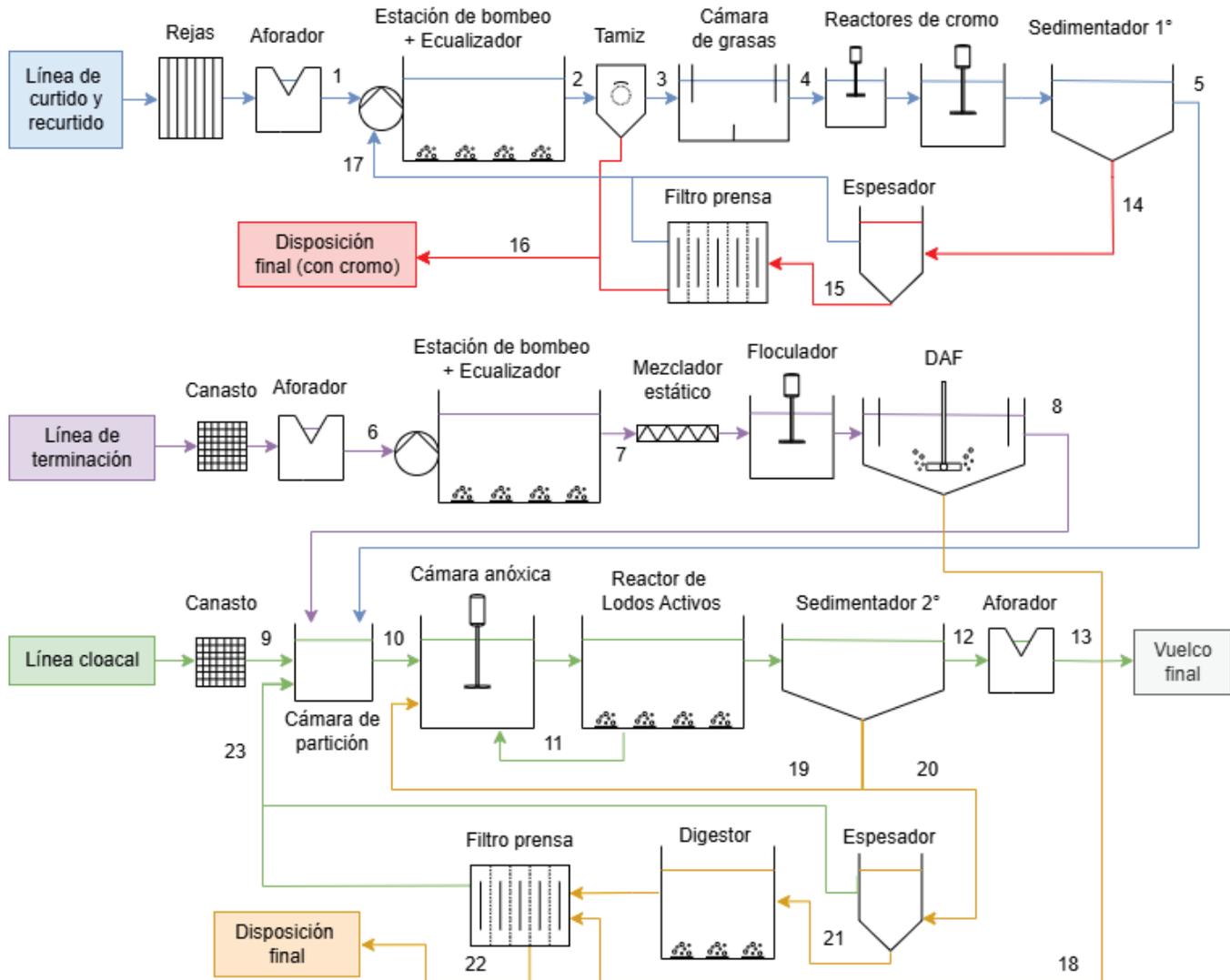
	Categoría	Grado de cumplimiento asignado	
Alternativa #A	Efectividad del tratamiento	La remoción de COVs se realiza mediante un incinerador térmico con recuperación de calor. Esta unidad se considera apropiada para el tratamiento de las emisiones gaseosas provenientes de la etapa de terminación del cuero, según la bibliografía consultada [76] [106].	3
		Ambas alternativas utilizan un separador ciclónico para la remoción de MP medio-grueso.	
	Espacio requerido	La instalación de un incinerador térmico con recuperación de calor requiere de una mayor superficie libre, en comparación al lecho filtrante de la alternativa #B.	2
	Costos estimados de instalación y operación	Mayor inversión inicial y costo de mantenimiento estimados, en comparación con la alternativa #B, vinculada a una mayor complejidad de la unidad de tratamiento de COVs proyectada.	1
		Principales costos de operación asociados al consumo de gas combustible y al funcionamiento de los ventiladores de impulsión.	
Generación de desechos	El incinerador térmico genera gases de combustión, que son venteados a la atmósfera.	2	
	Se deposita MP en el separador ciclónico, que debe ser gestionado como residuo sólido.		
Puntaje total asignado			17
Alternativa #B	Efectividad del tratamiento	La remoción de COVs se realiza mediante un lecho fijo con Carbón Activado. Si bien esta unidad puede usarse en el tratamiento de las emisiones gaseosas vinculadas a la terminación del cuero, la bibliografía consultada reporta dificultades en la remoción de cetonas [76] [106].	2
		Ambas alternativas utilizan un separador ciclónico para la remoción de MP medio-grueso.	
	Espacio requerido	La instalación de un lecho filtrante requiere de una menor superficie libre, en comparación al incinerador térmico con recuperación de calor de la alternativa #A.	3
	Costos estimados de instalación y operación	Menor inversión inicial y costo de mantenimiento estimados, en comparación con la alternativa #A, vinculada a una menor complejidad de la unidad de tratamiento de COVs proyectada.	2
		Principales costos de operación asociados al recambio y regeneración del lecho filtrante de carbón activado y al funcionamiento de los ventiladores de impulsión.	
Generación de desechos	Generación de efluentes líquidos durante la operación de regeneración del lecho fijo de carbón activado, sumado al descarte y recambio del lecho adsorbente cada cierto período de tiempo.	1	
	Se deposita MP en el separador ciclónico, que debe ser gestionado como residuo sólido.		
Puntaje total asignado			15

A partir de los resultados presentados, se concluyó que el sistema de captación y tratamiento de emisiones gaseosas más adecuado para la firma *Encuerado* es la alternativa **#A**, a la cual se le asignó un puntaje total de 17. En las secciones siguientes, se incluye la memoria descriptiva y la memoria de cálculo de este sistema de ventilación localizada.

Memoria descriptiva

Sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de lodos

La Figura 14 muestra el diagrama de flujo para la planta de tratamiento de efluentes líquidos diseñada, junto con el recorrido del efluente por las diferentes unidades que la conforman.



Referencias (I: Invierno - V: Verano)

(1) 6.25 m ³ /h	(2) 7.81 m ³ /h	(3) 7.81 m ³ /h	(4) 7.81 m ³ /h	(5) 6.25 m ³ /h	(6) 0.83 m ³ /h	(7) 0.83 m ³ /h	(8) 0.75 m ³ /h
(9) 0.06 m ³ /h	(10) I: 8.10 m ³ /h - V: 7.91 m ³ /h	(11) I: 23.72 m ³ /h - V: 24.31 m ³ /h	(12) I: 7.13 m ³ /h - V: 7.12 m ³ /h	(13) I: 7.13 m ³ /h	(13) V: 7.12 m ³ /h	(14) 1.56 m ³ /h	(15) 0.09 m ³ /h
(16) 0.01 m ³ /h	(17) 1.56 m ³ /h	(18) 0.08 m ³ /h	(19) I: 7.91 m ³ /h - V: 8.10 m ³ /h	(20) I: 0.78 m ³ /h - V: 0.98 m ³ /h	(21) I: 0.18 m ³ /h - V: 0.18 m ³ /h	(22) I: 0.02 m ³ /h - V: 0.02 m ³ /h	(23) I: 0.84 m ³ /h - V: 1.04 m ³ /h

Figura 16: Diagrama del sistema propuesto para el tratamiento de los efluentes líquidos de la empresa Encuerado. Azul: Línea de curtido y recurtido. Violeta: Línea de terminación. Verde: Línea de tratamiento secundario con ingreso de línea cloacal. Rojo: Sistema de tratamiento de lodos con cromo. Marrón: Sistema de tratamiento de lodos sin cromo.

Línea de curtido y recurtido

Los 23.33 m³/h promedio de efluente generado durante las etapas de curtido y recurtido son conducidos a un canal, donde atraviesan un sistema de **desbaste** compuesto por rejillas gruesas de 25 mm de paso y 10 mm de diámetro, seguido por rejillas finas de 10 mm de paso y 5 mm de diámetro. En esta instancia, los sólidos de mayor tamaño arrastrados junto con los efluentes son aplicados sobre las barras, para luego ser separados manualmente con un rastrillo hasta un escurridor ubicado en la parte superior de ambos sistemas de rejillas.

Luego del desbaste, las aguas residuales llegan a una cámara de aforo con un **vertedero de pared delgada** tipo triangular, de 90° de apertura. Esta unidad permite la medición de caudales de generación, así como también la toma de muestras de efluente.

Las aguas residuales de curtido y recurtido, junto al retorno del sistema de tratamiento de barros con cromo, son vertidas en una **estación de bombeo** prefabricada. La misma eleva el efluente hasta un **ecualizador** rectangular de 539.0 m³ totales, donde se compensa su caudal y carga contaminante. La altura total de la unidad es de 5.5 m, y su tirante fluctúa entre 4.8 m y 0.8 m. Para mantener una mezcla completa y evitar condiciones sépticas, se insuflan entre 300 y 216 Nm³/h de aire (dependiendo del tirante en la unidad), a través de una grilla de 60 difusores de burbuja gruesa. Usando una bomba trituradora sumergible, el efluente compensado es evacuado del ecualizador a un caudal de 7.81 m³/h, permitiendo que las siguientes unidades de adecuación operen en continuo y por gravedad.

La siguiente etapa del tratamiento contempla un **tamiz rotativo** de malla perforada, con una luz de 1 mm, adecuada para la remoción de pelos y arenas que puedan ser arrastrados en la corriente de efluentes. Se utiliza un tamiz comercial, con sistema de limpieza integrado, cuyas dimensiones y caudal operativo son compatibles con la salida del ecualizador [99].

El efluente prosigue a una cámara de **flotación simple** rectangular, de 15.2 min de tiempo de retención, donde se busca la remoción de grasas y material flotante. Dicha unidad cuenta con tres pantallas de control de flujo, para prevenir cortocircuitos hidráulicos del efluente. El material retenido en la cámara es removido mediante un equipo de limpieza comercial.

El tratamiento continúa con una unidad de **remoción de cromo**, basada en la precipitación del metal en medio alcalino controlado. El proceso se divide en dos etapas: un primer tanque de mezcla rápida, modelo comercial, con 5.1 min de tiempo de retención, donde se logra una regulación inicial del pH por la aplicación de 71.2 kg/h de Ca(OH)₂ (desde pH 2.5 hasta 9.5); y un segundo tanque de mezcla lenta, con sección cuadrada y 31.5 min de

tiempo de retención, donde se estabiliza el pH de la mezcla y comienza a precipitar el cromo trivalente. El sistema de agitación seleccionado consiste en un mezclador de turbina (flujo radial a 120 rpm para la mezcla rápida, y flujo axial a 30 rpm para la mezcla lenta), con deflectores longitudinales en las paredes para reducir la velocidad de rotación del efluente y evitar vórtices (sólo en el tanque de mezcla rápida, de sección circular).

Una vez precipitado el metal, el efluente egresa del tanque de mezcla lenta a través de una serie de orificios de 5.00 cm, e ingresa a una **cámara de transición** colindante de 4.0 m³ de volumen útil. Dicha cámara asegura un cambio gradual en el gradiente de velocidad del efluente, evitando la resuspensión del cromo precipitado. La cámara de transición también comparte pared con un sedimentador primario rectangular, al cual se conecta mediante una franja de orificios de 3.00 cm, que distribuyen uniformemente el efluente en todo el ancho de la unidad y disipan su energía para evitar la resuspensión de los barros sedimentados.

La función del **sedimentador primario** es remover por decantación las partículas con una densidad mayor a la del efluente líquido, siendo de particular interés el cromo precipitado. Su diseño distingue cuatro secciones: la zona de entrada del efluente, vinculada a la cámara de transición ya presentada; la zona de sedimentación, concebida para favorecer un flujo laminar de baja velocidad de avance, con una carga superficial aplicada de 29.3 m³/d.m², y dimensionada con 1.6 m de ancho, 4.0 m de largo y 3.1 m de profundidad útil; la zona de lodos, donde el material sedimentable decanta, es arrastrado por un barredor de fondo hasta una tolva de recolección, y finalmente es evacuado a razón de 1.56 m³/h por una bomba de succión inundada; la zona de salida, equipada con 12 vertederos equiespaciados tipo Thompson, de 90° de apertura, instalados en el lado opuesto al ingreso, por los que el sobrenadante escurre a razón de 6.25 m³/h y es conducido a la primera unidad de la línea de tratamiento biológico. El sedimentador también cuenta con una pantalla deflectora, cercana a la zona de salida, la cual retiene el material flotante que pueda separarse.

Línea de terminación

Los 3.11 m³/h promedio de efluente generado en la etapa de terminación son conducidos a un canasto de acero inoxidable, con una malla de 10 mm de luz, el cual actúa como sistema de **desbaste** para la retención de sólidos gruesos que puedan ser arrastrados junto con las aguas residuales. La unidad se empotra en un canal de aforo, equipado con un **vertedero de pared delgada** tipo triangular de 30°, usado para la medición de caudales de generación y la toma de muestras de efluente. El canasto también cuenta con una cadena de izamiento, que permite llevar a cabo operaciones de limpieza y mantenimiento manuales.

A continuación, el efluente de terminación es elevado mediante una **estación de bombeo** a un **tanque ecualizador** de sección rectangular y 75.6 m³ totales, donde se compensa su caudal y carga contaminante. La altura total de la unidad es 4.2 m, con un tirante que varía entre 0.7 y 3.7 m. Para mantener condiciones de mezcla completa y aireación adecuada, se insuflan entre 100 y 40 Nm³/h de aire (dependiendo del tirante en el ecualizador), mediante una grilla de 10 difusores de burbuja gruesa. Usando una bomba sumergible, el efluente compensado es conducido fuera de la cámara a un caudal constante de 0.83 m³/h, permitiendo que las siguientes unidades de tratamiento operen en continuo y por gravedad.

El agua residual prosigue a una unidad de **coagulación y floculación**, donde se adicionan agentes que desestabilizan y aglomeran las partículas coloidales presentes en la corriente. Este sistema se divide en dos etapas: un primer mezclador estático comercial, concebido para operar en régimen turbulento, con tiempo de retención igual a 2.2 segundos, donde se inyecta 108 g/h de sulfato de aluminio como agente coagulante; y un segundo tanque con sección cuadrada y 37.2 min de tiempo de retención, equipado con un sistema de agitación por turbina de flujo axial operando a 40 rpm, donde se inyecta policloruro de aluminio como agente floculante a razón de 129 g/h. Como resultado del proceso, se generan flóculos que son separados en una unidad posterior de flotación por aire disuelto (DAF).

La función del **DAF** es remover por flotación los aglomerados y sustancias con una densidad menor a la del efluente líquido, asistida por la inyección de microburbujas de aire. El sistema se halla compuesto por: un tanque de presurización de 2.5 min de tiempo de retención, que recibe 0.67 m³/h de efluente clarificado y usa un compresor para inyectar 24.5 g/h de aire a una presión manométrica de 3.4 atm; una cámara de flotación circular, con 0.032 m³/min.m² de carga superficial y 44.0 min de tiempo de retención, en la que confluyen el clarificado presurizado y 0.83 m³/h de efluente sin tratar; una cámara de partición de 5.0 min de tiempo de retención, que recibe el clarificado egresando de la cámara de flotación y usa una bomba para recircular una fracción al tanque presurizador. La remoción de contaminantes ocurre en la cámara de flotación, la cual se divide en cuatro sectores: zona de entrada, dotada con un difusor comercial que inyecta la mezcla de efluentes con aire disuelto; zona de flotación, de 1.0 m de diámetro y 1.4 m de altura útiles, donde ocurre la liberación de microburbujas que asisten el proceso DAF; zona de lodos, provista con una trampa para material flotante, una tolva de recepción de sedimentos, y una bomba de evacuación de barro operando a 0.08 m³/h; zona de salida, dotada de 12 vertederos Thompson de 90°, por los que escurre el sobrenadante a 1.42 m³/h y es conducido a la primera unidad del tratamiento secundario.

Línea de tratamiento secundario

Las aguas cloacales (caudal de generación medio horario de $0.24 \text{ m}^3/\text{h}$), los clarificados de las líneas de curtido y terminación, y el retorno del tratamiento de barros mixtos, confluyen en un tanque comercial de 8.0 m^3 , el cual actúa como **cámara de partición** y homogeneiza las corrientes de efluentes antes de su ingreso a la cámara anóxica. El tanque se equipa con: un canasto de malla de acero inoxidable y 10 mm de luz, el cual actúa como sistema desbaste para la corriente cloacal; un sistema de dosificación de ácido sulfúrico, que asegura un pH neutro adecuado para el funcionamiento de la cámara anóxica y reactor biológico; un agitador mecánico con regulador de potencia, para asegurar condiciones de mezcla completa en la unidad; y una bomba sumergible, operando a caudal constante de salida igual a $8.10 \text{ m}^3/\text{h}$ en verano y $7.91 \text{ m}^3/\text{h}$ en invierno.

El efluente prosigue a una instancia de **tratamiento biológico**, constituida por una cámara anóxica, un reactor de lodos activados y un sedimentador secundario, con los que se busca remover la carga orgánica y nitrógeno presentes. Se diferencian condiciones de operación para verano e invierno, tal de mantener constante la eficiencia del tratamiento frente a los cambios en la cinética de reacción microbiana (vinculados a la variación térmica estacional).

Al egresar de la cámara de partición, las aguas residuales ingresan en una **cámara anóxica** de sección cuadrada, con 3.2 m de lado y 5.5 m de profundidad (5.0 m de tirante), donde ocurre la desnitrificación del efluente por acción de bacterias *Pseudomonas* y *Thiobacillus*. La unidad recibe una recirculación interna desde el reactor de lodos activados, a razón de $24.31 \text{ m}^3/\text{h}$ en verano y $23.72 \text{ m}^3/\text{h}$ en invierno, que permite alternar entre condiciones de ausencia de oxígeno (cámara anóxica) y de aerobiosis (lodos activados), necesarios para llevar a cabo el ciclo de remoción de nitrógeno. Debido a la baja cinética de oxidación biológica en la cámara anóxica, en comparación con el medio aeróbico, se considera una misma carga de microorganismos activos que en el reactor de lodos activos [21] [31] [56].

Compartiendo pared con la cámara anóxica se encuentra un reactor de **lodos activados**, de 6.0 m de ancho, 9.5 m de largo y 5.5 m de altura total (5.0 m de tirante), cuya concentración de microorganismos activos es igual a $2800 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$ en verano y $3440 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$ en invierno. La unidad se equipa con una grilla de 77 difusores de burbuja fina, que insuflan $385 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de aire en verano y $308 \text{ Nm}^3/\text{h}$ en invierno. El fin de estos dispositivos es proveer la mezcla necesaria para mantener a los sólidos en suspensión, y asegurar condiciones aeróbicas óptimas para impulsar la remoción de carga orgánica por respiración celular, así como la nitrificación del efluente por acción de las bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* presentes.

El efluente que egresa del reactor y cámara anóxica es decantado en un **sedimentador secundario** de sección circular, con diámetro total de 4.20 m. Parte de la biomasa separada es purgada al tratamiento de lodos mixtos (0.98 m³/h en verano y 0.78 m³/h en invierno), mientras que la otra fracción es recirculada a la cámara anóxica, con el fin de mantener la concentración de microorganismos activos estipulada (8.10 m³/h en verano y 7.91 m³/h en invierno). El diseño de la unidad distingue cuatro secciones: zona de entrada, con una placa perforada cilíndrica que permite disipar la energía del efluente ingresando en la unidad y distribuirlo uniformemente; zona de sedimentación, dimensionada con 2.0 m de altura útil, 4.0 m de diámetro útil, y con una carga de sólidos aplicada de 5.0 kg_{SST}/h.m² en verano y 5.9 kg_{SST}/h.m² en invierno; zona de lodos, donde la biomasa decanta por gravedad en una tolva, y es purgada o recirculada mediante una bomba de succión inundada; zona de salida, equipada con 24 vertederos equiespaciados tipo Thompson de 90°, por los que el sobrenadante escurre a razón de 7.12 m³/h en verano y 7.13 m³/h en invierno, para luego ser conducido a una **cámara de aforo y toma de muestra** reglamentaria (Rs. N° 607/2012).

Tratamiento de lodos primarios con cromo

Los barros del sedimentador primario de la línea de curtido y recurtido son conducidos a un **espesador** circular, a razón de 37.50 m³/d, donde se los concentra gravimétricamente hasta una concentración de sólidos secos de 6% (eficiencia de captura de sólidos del 90%). El diseño del espesador contempla cuatro secciones: zona de entrada, con una placa perforada cilíndrica por donde ingresa el barro y con un deflector concéntrico para disminuir su energía cinética; zona de espesamiento, dimensionada con 3.0 m de altura útil, 1.7 m de diámetro útil, y con una carga de sólidos aplicada de 94.1 kg_{SST}/h.m²; zona de lodos, donde los barros decantan y se espesan por gravedad en una tolva, para luego ser conducidos a la siguiente unidad con una bomba de succión inundada operando a 2.08 m³/d; zona de salida, equipada con 10 vertederos equiespaciados tipo Thompson de 90°, por los que el sobrenadante escurre y es recirculado al equalizador de la línea de curtido y recurtido.

Los lodos espesados son luego deshidratados en un **filtro prensa**, modelo comercial, con una presión de trabajo de 12 a 30 atm y un ciclo de operación estimado de 35.2 horas. La unidad genera 0.35 m³/d de lodos deshidratados con una concentración de sólidos secos de 30% (eficiencia de captura de sólidos del 90%), los cuales se disponen junto al material retenido en el tamiz y la cámara de flotación simple, siguiendo una gestión adecuada para un residuo especial clase Y18 (Ley provincial N° 11.720). Por su parte, el sobrenadante generado en la unidad es recirculado al equalizador de la línea de curtido y recurtido.

Tratamiento de lodos mixtos sin cromo

La purga del sedimentador secundario es conducida a un **espesador** circular, a razón de 23.52 m³/d en verano y 18.74 m³/d en invierno, donde se la concentra gravimétricamente hasta una concentración de sólidos secos de 3% (eficiencia de captura de sólidos del 80%). De forma similar al espesador de barros con cromo, la unidad contempla zonas de entrada, salida, espesamiento y barros. Posee un diámetro total de 2.8 m (2.6 m útiles), una altura útil de 3.0 m, y una carga de sólidos aplicada de 36.4 kg_{SST}/h.m² en verano y 35.6 kg_{SST}/h.m² en invierno. Una vez espesado, el barro es conducido a la siguiente unidad con una bomba de succión inundada, operando a 4.36 m³/d en verano y 4.27 m³/d en invierno. El líquido sobrenadante es recirculado a la cámara de partición de la línea de tratamiento biológico.

Los lodos secundarios espesados son estabilizados en un **digestor aeróbico** rectangular, con un volumen útil de 69.3 m³, una carga de sólidos aplicada de 1.90 kg_{SST}/m³.d en verano y 1.86 kg_{SST}/m³.d en invierno, y un tiempo de retención de sólidos de 49.9 días en verano y 26.7 días en invierno. La unidad cuenta con una grilla de 36 difusores de burbuja gruesa, que insuflan 504 Nm³/h de aire en verano y 360 Nm³/h invierno, manteniendo condiciones de mezcla y aireación adecuadas para el proceso. Al contar con un espesador como unidad de tratamiento previa, se logra disminuir el volumen requerido en el digestor, respetando la concentración de sólidos máxima reportada en bibliografía de 5% [110] [111].

Los barros estabilizados y lodos primarios del DAF confluyen en un **filtro prensa**, evitando así un posible efecto inhibitorio de los productos de terminación del cuero (potencialmente remanentes en los lodos DAF) sobre los microorganismos del digestor aeróbico. El modelo comercial elegido posee una presión de trabajo de 12 a 30 atm, con un ciclo de operación estimado de 44.1 h en verano y 42.7 h en invierno. Se generan 0.41 m³/d de deshidratados en verano y 0.42 m³/d en invierno (eficiencia de captura de sólidos del 90%), los cuales se disponen en celdas especialmente asignadas dentro de un relleno sanitario, siguiendo lo establecido en la Resolución nacional N° 410/18 para lodos mixtos cloacales-industriales. El sobrenadante es recirculado a la cámara de partición de la línea de tratamiento biológico.

Sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas

La Figura 17 y Figura 18 presentan los diagramas de flujo para los sistemas de captación y tratamiento de emisiones gaseosas diseñados, vinculados respectivamente con las etapas de pulido y terminación del cuero. Se distinguen con colores los siguientes elementos: focos de generación de emisiones gaseosas (celeste), unidad de tratamiento (verde), y chimenea

de descarga a la atmósfera (naranja). Los caudales de circulación de aire se reportan en condiciones de presión y temperatura operativos (valores indicados entre paréntesis).

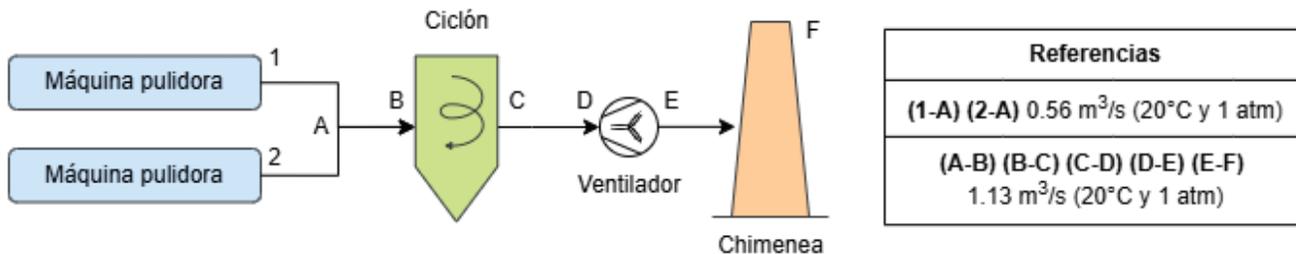


Figura 17: Diagrama del sistema propuesto para la captación y el tratamiento de las emisiones de material particulado (MP), generadas durante la etapa de pulido del cuero. Los puntos 1-2 y A-F refieren a nodos dentro del sistema de ventilación, usados para definir tramos y poder calcular la pérdida de carga del sistema.

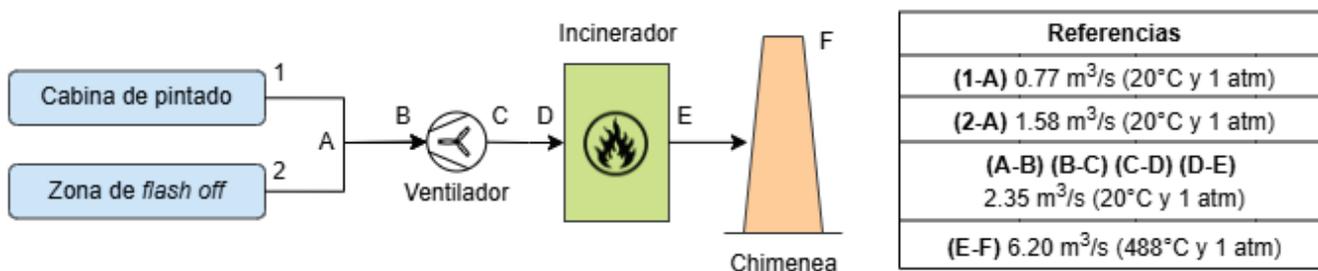


Figura 18: Diagrama del sistema propuesto para la captación y el tratamiento de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs), generadas durante la etapa de terminación del cuero. Los puntos 1-2 y A-F refieren a nodos dentro del sistema de ventilación, usados para definir tramos y poder calcular la pérdida de carga del sistema.

Captación y tratamiento de las emisiones vinculadas a la etapa de pulido

Las emisiones de material particulado, generadas durante la operación de pulido del cuero, son controladas mediante el **cerramiento** y **depresión** de las dos máquinas pulidoras de la firma. El caudal de aire a ser aspirado en cada campana es 0.56 m³/s (20°C y 1 atm) y la velocidad de control considerada es 0.50 m/s. Dicho aire captado es conducido a través de dos ramales de 0.22 m de diámetro cada uno, los cuales confluyen en un troncal de 0.31 m de diámetro, para luego ingresar a la unidad de tratamiento.

El material particulado es removido por acción centrífuga y gravimétrica en un **separador ciclónico** convencional, con entrada de aire tangencial, de 0.80 m de diámetro (el resto de sus dimensiones responden a factores de proporcionalidad). La unidad se localiza aguas arriba del **ventilador** centrífugo de impulsión, de 4 kW de potencia mecánica y 2100 rpm, permitiendo que el ciclón opere en condiciones de presión negativa (disminuye el riesgo de fugas de MP por aberturas en la unidad). El aire tratado es finalmente evacuado a través de una **chimenea** tipo americana, con una altura de descarga 3.00 m por encima del punto más alto del edificio, asegurando una adecuada dispersión atmosférica de la pluma.

Captación y tratamiento de las emisiones vinculadas a la etapa de terminación

Las emisiones de COVs vinculadas a la aplicación de solventes y productos de terminación, son controladas mediante **campanas de captación**. Para aquellas liberadas dentro de la cabina de pintado, se usa un conducto de evacuación integrado a la estructura de 0.31 m de diámetro, que aspira aire a razón de 0.77 m³/s (20°C y 1 atm), y el cual incluye un prefiltro para la retención de aerosoles. Con respecto a las emisiones generadas durante el secado del cuero, se considera que el cuerpo del túnel instalado cuenta con un sistema prefabricado de extracción. Por este motivo, se complementa el control de las emisiones de COVs con una campana suspendida sobre la zona *flash off* del equipo de secado (ver Figura 19), la cual aspira aire a un caudal de 1.58 m³/s (20°C y 1 atm) y se conecta a un conducto ramal de 0.45 m de diámetro. En ambos casos, la velocidad de control considerada es 0.50 m/s.

Los ramales de ambas campanas confluyen en un conducto troncal de 0.55 m de diámetro, para luego ingresar al **incinerador térmico**. Dicho equipo de tratamiento posee una cámara de combustión de 0.75 s de tiempo de residencia, dimensionada con 1.60 m de diámetro y 3.60 m de longitud, en la que los COVs son oxidados al alcanzar una temperatura de 850°C. La unidad posee un intercambiador de calor con 40% de eficiencia de recuperación, el cual utiliza la descarga tratada para precalentar la corriente gaseosa de ingreso hasta los 352°C, requiriéndose así una inyección de 0.043 Sm³/s de gas natural (25°C y 1 atm) para alcanzar la temperatura de combustión de diseño. El equipo se localiza aguas abajo del **ventilador** centrífugo de impulsión, de 7.5 kW de potencia mecánica y 1400 rpm, con el fin de minimizar la abrasión térmica asociada con la descarga del incinerador.

Una vez tratado, la corriente de gas es finalmente evacuada a través de una **chimenea** de doble sección, con una altura de descarga 3.00 m por encima del punto más alto del edificio.

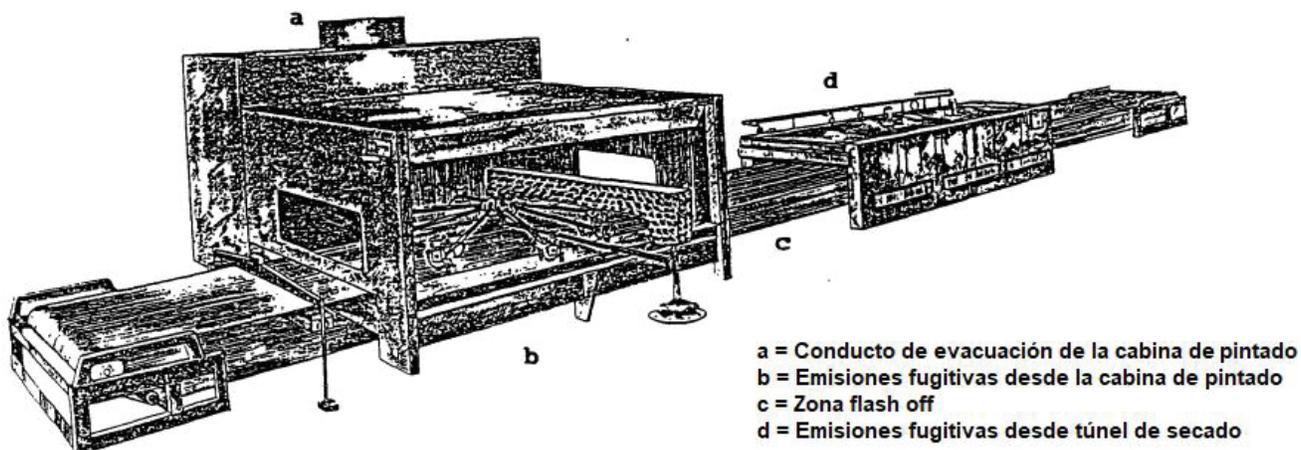


Figura 19: Focos de emisión de COVs, dentro de un equipo de pintado automático acoplado a un túnel de secado. Ref.: [106].

Memoria de cálculo: Sistema de tratamiento de efluentes líquidos

Línea de curtido y recurtido

Sistema de desbaste: Rejas gruesas y rejas finas

Se plantea la instalación de un sistema de desbaste para la línea de curtido y recurtido, compuesto por rejas gruesas (RG) y rejas finas (RF) de limpieza manual. Siendo esta la primera etapa del sistema de tratamiento, se consideró un caudal de entrada a la unidad variable, tal como se ve en la Tabla 7 de la sección Caracterización del efluente de proceso.

Dimensionamiento de las rejas

El sistema de desbaste se diseñó con rejas de barrotes circulares, instaladas sobre un canal de **0.30 m** de ancho (W_{CR}), y formando un ángulo con respecto a la horizontal de **60°** (θ_R). Se seleccionaron barrotes de **10 mm** (w_{RG}) con una separación de **25 mm** (b_{RG}) para las RG, y de **5 mm** (w_{RF}) con una separación de **10 mm** (b_{RF}) para las RF [56]. La cantidad de barras que conforman cada sistema (nb_{RG} - nb_{RF}), se obtuvo a continuación:

$$[\text{Ec. 10}] \quad nb_R = (W_{CR} - ne_R * b_R) / w_R \qquad [\text{Ec. 11}] \quad nb_R = ne_R - 1$$

Donde:

- nb_R : Número de barras del sistema de rejas - **RG: 8 barras - RF: 19 barras.**
- ne_R : Número de espacios entre las rejas - **RG: 9 espacios - RF: 20 espacios.**
- W_{CR} [cm]: Ancho de canal adoptado - 30.0 cm.
- b_R [cm]: Separación entre barras - RG: 2.5 cm - RF: 1.0 cm.
- w_R [cm]: Diámetro de las barras - RG: 1.0 cm - RF: 0.5 cm.

Velocidad de aproximación y altura cinética del flujo

Se adoptó una velocidad de aproximación del flujo al sistema de rejas de **0.45 m/s** (va_R), en condición de caudal de generación de efluente medio (23.33 m³/h). Dicha velocidad se encuentra dentro del rango propuesto en bibliografía para rejas con limpieza manual de 0.30-0.60 m/s, el cual asegura que los sólidos se apliquen sobre las barras, sin producir un exceso de pérdida de carga ni provocar la deposición de material en el fondo del canal [56]. Usando el valor de va_R , se calculó la altura cinética del flujo aproximándose a las rejas (hv_R):

$$[\text{Ec. 12}] \quad hv_R = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * \left(Q_{gen \text{ medio } c} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) / (va_R * W_{CR})$$

Donde:

- h_{vR} [cm]: Altura cinética del flujo aproximándose al sistema de rejillas - **4.8 cm**.
- $Q_{gen\ medio\ c}$ [m^3/h]: Caudal de generación medio (curtido y recurtido) - 23.33 m^3/h .
- v_{aR} [m/s]: Velocidad de aproximación del flujo al sistema de rejillas - 0.45 m/s.
- W_{cR} [m]: Ancho de canal adoptado - 0.30 m.

A continuación, se verificó que las velocidades de aproximación a las rejillas, en condiciones de caudal de generación de efluente máximo, se encuentren por debajo del valor límite permitido de 0.90 m/s [78]. Para ello, se introdujo la altura cinética calculada (4.8 cm) y el caudal de generación máximo (39.44 m^3/h) en [Ec. 12], y se despejó el parámetro $v_{aR\ max}$. De esta forma, se obtuvo una velocidad de acercamiento de **0.76 m/s**.

Velocidad de paso y pérdida de carga a través de las rejillas

Usando las expresiones a continuación, se verificó que la velocidad de paso entre barras (v_{pRG} - v_{pRF}) respete el valor límite recomendado de 1.40 m/s, y que la pérdida de carga total en el sistema de desbaste (h_{ldR}) sea menor a 15 cm [56] [81]. En ambos casos, se contemplaron condiciones de caudal de generación medio y una obstrucción del 50%.

$$[\text{Ec. 13}] \quad h_{ldR} = h_{l_{RG\ 50\%}} + h_{l_{RF\ 50\%}} \quad [\text{Ec. 14}] \quad h_{l_{R\ 50\%}} = \beta_R * (w_R/b_R)^{4/3} * h_{vR} * \text{sen}(\theta_R)/0.5$$

$$[\text{Ec. 15}] \quad v_{pR} = \left(Q_{gen\ medio\ c} * \frac{1\ h}{3600\ s} \right) / \left(h_{vR} * \frac{1\ m}{100\ cm} * n_{eR} * b_R * \frac{1\ m}{1000\ mm} * 0.5 \right)$$

Donde:

- h_{ldR} [cm]: Pérdida de carga en el sistema de rejillas (50% de obstrucción) - **10.3 cm**.
- $h_{l_{R\ 50\%}}$ [cm]: Pérdida de carga en rejillas (50% obstruidas) - **RG: 4.4 cm - RF: 5.9 cm**.
- v_{pR} [m/s]: Velocidad de paso entre barras - **RG: 1.22 m/s - RF: 1.33 m/s**.
- β_R : Constante de Kirschmer para rejillas circulares, adoptado de ref. [56] - 1.79.
- w_R [mm]: Diámetro de las barras - RG: 10 mm - RF: 5 mm.
- b_R [mm]: Separación entre barras - RG: 25 mm - RF: 10 mm.
- h_{vR} [cm]: Altura cinética del flujo aproximándose al sistema de rejillas - 4.8 cm.
- θ_R [°]: Ángulo de las rejillas respecto de la horizontal - RG: 60° - RF: 60°.
- $Q_{gen\ medio\ c}$ [m^3/h]: Caudal de generación medio (curtido y recurtido) - 23.33 m^3/h .
- n_{eR} : Número de espacios entre las rejillas - RG: 9 espacios - RF: 20 espacios.

Dimensionamiento del canal

El canal donde se empotran ambas rejillas se diseñó con una profundidad de **0.40 m** (H_{cR}). Utilizando este valor, se verificó que la revancha resultante (Rev_R) sea mayor a 20 cm:

$$[\text{Ec. 16}] \quad Rev_R = Hc_R - hv_R - hld_R$$

Donde:

- Rev_R [cm]: Revancha del canal - **24.9 cm**.
- Hc_R [cm]: Profundidad de canal adoptado - 40.0 cm.
- hv_R [cm]: Altura cinética del flujo aproximándose al sistema de rejas - 4.8 cm.
- hld_R [cm]: Pérdida de carga en el sistema de rejas (50% de obstrucción) - 10.3 cm.

Finalmente, para asegurar un flujo laminar del efluente circulando, se propuso que la longitud de canal libre frente a cada reja (L_{CRG} - L_{CRF}) cumpla con el siguiente criterio:

$$[\text{Ec. 17}] \quad L_{CR \min} = Lp_R + 10 * (hv_R + hl_{R 50\%}) * \frac{1m}{100cm} \quad [\text{Ec. 18}] \quad Lp_R = Hc_R / \tan(\theta_R)$$

Donde:

- $L_{CR \min}$ [m]: Longitud mínima de canal libre - **RG: 1.15 m - RF: 1.30 m**.
- Lp_R [m]: Largo proyectado de la reja sobre la horizontal - **RG: 0.23 m - RF: 0.23 m**.
- hv_R [cm]: Altura cinética del flujo aproximándose al sistema de rejas - 4.8 cm.
- $hl_{R 50\%}$ [cm]: Pérdida de carga en rejas (50% obstruidas) - RG: 4.4 cm - RF: 5.9 cm.
- Hc_R [m]: Profundidad de canal adoptado - 0.40 m.
- θ_R [°]: Ángulo de las rejas respecto de la horizontal - RG: 60° - RF: 60°.

De esta forma, se adoptó una longitud de canal de **2.50 m** (L_{CR}), permitido un espacio libre de 1.20 m frente a las RG (L_{CRG}) y de 1.30 m frente a las RF (L_{CRF}).

Sistema de recolección de sólidos

La limpieza de las unidades de desbaste se concibió de forma manual, mediante la utilización de un rastrillo metálico adaptado a la forma de las rejas. Se decidió instalar una placa con orificios perforados en la parte superior de las unidades, para percolar los sólidos recolectados. El diámetro de abertura adoptado fue de **20 mm** para RG (dor_{RG}) y de **10 mm** para RF (dor_{RF}), comparables a la separación entre barras utilizada en cada caso.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 20: Sistema de desbaste diseñado para la línea de curtido y recurtido.

		Rejas gruesas (RG)	Rejas finas (RF)
Rejas			
Tipo de limpieza		Limpieza manual	Limpieza manual
Numero de barras	$nb_{RG} - nb_{RF}$	8	19

		Rejas gruesas (RG)	Rejas finas (RF)
Diámetro de barra (mm)	$W_{RG} - W_{RF}$	10	5
Separación de barra (mm)	$b_{RG} - b_{RF}$	25	10
Ángulo c/horizontal (°)	$\theta_{RG} - \theta_{RF}$	60	60
Placa de escurrimiento			
Diámetro de orificios (mm)	$d_{or_{RG}} - d_{or_{RF}}$	20	10
Canal único			
Longitud del canal (m)	L_{CR}	2.50	
Ancho de canal (m)	W_{CR}	0.30	
Profundidad de canal y revancha (m)	$H_{CR} - Rev_R$	0.40 - 0.25	

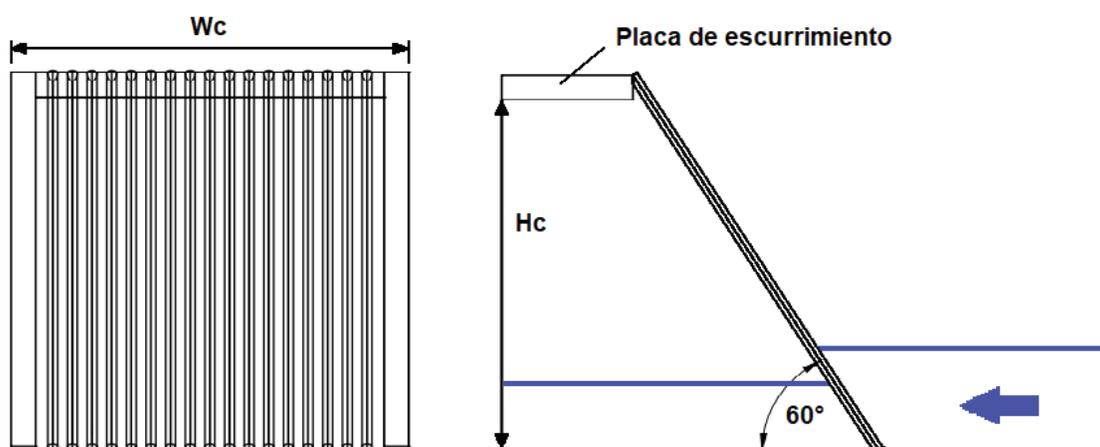


Figura 20: Esquema de sistema de rejillas.

Aforador: vertedero de pared delgada

A continuación del sistema de desbaste, el efluente de la línea de curtido y recurtido ingresa a un canal aforador tipo vertedero de pared delgada.

Carga sobre el vertedero

El sistema de aforo se concibió mediante un vertedero triangular, con un ángulo de apertura de 90° (α_v) y una regla de medición de **20 cm**. Luego, utilizando los caudales de generación presentados en la Tabla 7 y la ecuación a continuación, se verificaron las cargas sobre el vértice del vertedero (h_{v_v}) en condiciones de caudal medio ($Q_{gen\ medio\ c}$) ($23.33\ m^3/h$), máximo ($Q_{gen\ máx\ c}$) ($34.80\ m^3/h$) y mínimo distinto de cero ($Q_{gen\ mín\ c}$) ($7.80\ m^3/h$) [67]:

$$[Ec. 19] \quad h_{v_v} = \frac{100\ cm}{1\ m} * \left(Q_{gen\ c} * \frac{1\ h}{3600\ s} * \frac{1}{1.32 * tg(\alpha_v/2)} \right)^{0.405}$$

Donde:

- h_{v_v} [cm]: Carga sobre el vértice del vertedero, para caudal de generación medio, máximo o mínimo - $h_{v_v \text{ medio}}$: **12 cm** - $h_{v_v \text{ máx}}$: **14 cm** - $h_{v_v \text{ mín}}$: **7 cm**.
- $Q_{\text{gen } c}$ [m^3/h]: Caudal de generación de efluente (línea de curtido), medio, máximo o mínimo - $Q_{\text{gen medio } c}$: **23.33 m^3/h** - $Q_{\text{gen máx } c}$: **34.80 m^3/h** - $Q_{\text{gen mín } c}$: **7.80 m^3/h** .
- α_v [°]: Ángulo del inciso en forma de "V" del vertedero - **90°**.

Siendo que se obtuvieron cargas entre 5-15 cm para las diferentes condiciones evaluadas, se determinó que el vertedero es compatible con la regla de medición seleccionada [67].

Dimensionamiento del canal

Siguiendo recomendaciones bibliográficas, se adoptó un ancho de canal de **0.90 m** (B_{c_v}) y una altura base del vertedero de **0.50 m** (p_v) [67]. Por su parte, el largo de canal (L_{c_v}), su profundidad (H_{c_v}) y la distancia a la que debe colocarse la regla de medición (L_{h_v}) se establecieron respectivamente en **1.40 m**, **0.90 m** y **0.60 m**, verificando en cada caso el cumplimiento de los criterios de diseño presentados en las expresiones [Ec. 20], [Ec. 21] y [Ec. 22]. Por último, se verificó que la revancha resultante del canal sea mayor a 25 cm [67]:

[Ec. 20] $L_{c_v \text{ min}} = 10 * h_{v_v \text{ max}}$

[Ec. 21] $L_{h_v} = 4 a 5 * h_{v_v \text{ max}}$

[Ec. 22] $H_{c_v \text{ min}} = 0.2 m + p_v + 1.2 * h_{v_v \text{ max}}$

[Ec. 23] $Rev_v = H_{c_v} - p_v - h_{v_v \text{ max}}$

Donde:

- $L_{c_v \text{ min}}$ [m]: Largo mínimo del canal - **1.37 m**.
- L_{h_v} [m]: Distancia a la que debe colocarse la regla de medición - **0.55 a 0.68 m**.
- $H_{c_v \text{ min}}$ [m]: Profundidad mínima del canal - **0.86 m**.
- Rev_v [m]: Revancha del canal - **0.36 m**.
- H_{c_v} [cm]: Profundidad adoptada para el canal - **1.00 m**.
- p_v [m]: Altura base del vertedero - **0.50 m**.
- $h_{v_v \text{ máx}}$ [m]: Carga máxima sobre el vértice del vertedero - **0.14 m**.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 21: Vertedero de pared delgada diseñado para la línea de curtido y recurtido.

Canal			Vertedero		
Longitud del canal (m)	L_{c_v}	1.40	Tipo de abertura		Triangular
Ancho de canal (m)	B_{c_v}	0.90	Angulo de vertedero (°)	α_v	90
Profundidad de canal (m)	H_{c_v}	1.00	Altura base de vertedero (m)	p_v	0.50
Revancha (m)	Rev_v	0.36	Distancia de medición (m)	L_{h_v}	0.60

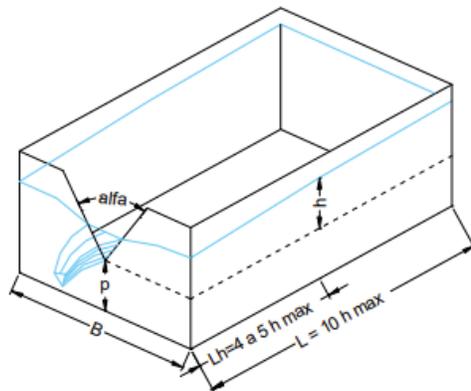


Figura 21: Esquema de vertedero de pared delgada. Ref.: [67].

Tanque ecualizador y estación de bombeo

Luego del aforador, se propone la instalación de un tanque ecualizador (EC) que permita homogeneizar el caudal y la composición del efluente generado. Dicha unidad contará con una estación de bombeo previa (EB1), la cual eleve el fluido hasta el ingreso del EC.

Tanque EC: Volumen de la cámara

Para determinar el volumen de la cámara de ecualización (V_{EC}), se tuvo en cuenta el caudal ingresando y egresando de la unidad. Tal como se expuso en la Figura 16, el ingreso se haya conformado por el aporte del caudal de generación de las etapas de curtido y recurtido, más el retorno del sistema de tratamiento de barros con cromo:

- La generación horaria de efluentes líquidos se extrajo de la Tabla 7.
- El retorno del sistema de tratamiento de barros se consideró constante y se obtuvo a partir de una iteración, resultando en un caudal de **1.56 m³/h** ($Q_{ret_{EC}}$).

Por su parte, el caudal de salida de la cámara ($Q_{S_{EC}}$) se estableció constante, para permitir que las unidades subsiguientes de la planta de tratamiento puedan operar en continuo:

$$[\text{Ec. 24}] \quad Q_{S_{EC}} = Q_{gen \ h \ c} * \frac{9 \text{ horas hábiles}}{24 \text{ horas totales}} * \frac{5 \text{ días hábiles}}{7 \text{ días totales}} + Q_{ret_{EC}}$$

Donde:

- $Q_{S_{EC}}$ [m³/h]: Caudal de salida del tanque de ecualización, utilizado como caudal de diseño para las unidades subsiguientes del sistema de tratamiento - **7.81 m³/h**.
- $Q_{gen \ h \ c}$ [m³/h]: Caudal de generación medio (curtido y recurtido) - 23.33 m³/h.
- $Q_{ret_{EC}}$ [m³/h]: Caudal de retorno del sistema de tratamiento de barros - 1.56 m³/h.

Una vez establecidos los caudales de entrada y salida, se realizó un gráfico con el volumen acumulado de efluente ingresando y egresando del tanque, a lo largo de toda una semana.

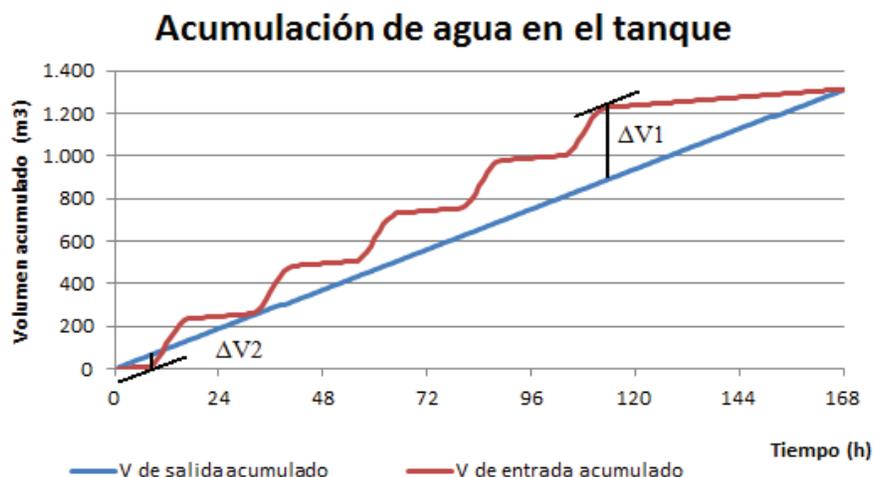


Figura 22: Volumen acumulado de efluente ingresando en el tanque (rojo) y volumen acumulado de salida (azul), a lo largo de toda una semana. En negro, los valores de ΔV utilizados para el diseño del equalizador. Tiempo de inicio: lunes a las 0:00 h.

A partir de la Figura 22, se extrajeron las diferencias máximas positiva ($\Delta V1$) y negativa ($\Delta V2$) entre el volumen ingresando y egresando al equalizador. Luego, considerando un margen de seguridad del 20%, se estimó la dimensión mínima de la cámara de equalización:

$$[\text{Ec. 25}] \quad V_{EC \min} = (|\Delta V1| + |\Delta V2|) * 1.2$$

Donde:

- $V_{EC \min}$ [m^3]: Volumen mínimo de la cámara de equalización - **472.5 m^3** .
- ΔV [m^3]: Máximas diferencias (positiva y negativa) entre el volumen acumulado ingresando y egresando al equalizador - $\Delta V1$: 343.8 m^3 - $\Delta V2$: -50.0 m^3 .

En función del resultado obtenido, se adoptó un volumen total para el EC de **539.0 m^3** (V_{EC}). Considerando una geometría rectangular, la longitud se estableció en **14.0 m** (L_{EC}), el ancho en **7.0 m** (A_{EC}) y la altura total en **5.5 m** (H_{tEC}). La revancha resultante en condiciones de máximo tirante (4.8 m) fue de **0.7 m** ($Re_{V_{EC}}$) (ver Figura 23).

Tanque EC: Bomba de evacuación del efluente

Se plantea la instalación de una bomba sumergible, capaz de asegurar un caudal de salida de 7.81 m^3/h (Q_{SEC}), y capaz de entregar una altura suficiente para superar el tirante máximo del EC (4.8 m, ver Figura 23) y permitir que las unidades subsiguientes operen por gravedad (0.7 m, ver Anexo IX). El dispositivo elegido fue una bomba **Grundfos SEG.40.09.2.1.502**, cuyas especificaciones y punto operativo se presentan en la Figura Anexo 16. Se optó por adquirir 2 dispositivos, los cuales operen de forma alternada tal de aumentar su vida útil.

Para asegurar la sumergencia de la bomba elegida, el tirante mínimo dentro del EC debe ser de 0.5 m. A partir de un balance de masas en el equalizador, se verificó que un volumen inicial de 125 m^3 asegura la condición mencionada (ver Figura 23).

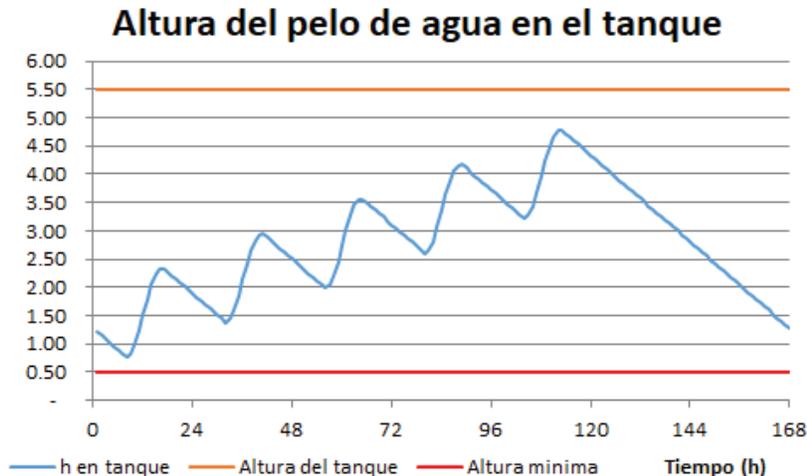


Figura 23: Azul: Variación temporal de la altura del efluente en el tanque EC, a lo largo de una semana, con un volumen de llenado inicial de 125 m³. Naranja: Altura del tanque (5.5 m). Rojo: Tirante mínimo (0.5 m). Tiempo de inicio: lunes a las 0:00 h.

Tanque EC: Sistema de mezcla y aireación

La cámara EC debe contar con un sistema de mezcla y aireación, capaz de prevenir un medio anaeróbico y de asegurar la mezcla del efluente. Los dispositivos elegidos fueron **60** difusores de burbuja gruesa **Repicky CB-300** (Figura Anexo 20). Teniendo en cuenta su rango de operación de 3-25 Nm³/h, se proyectó un caudal de aire por difusor de **10.0 Nm³/h** (caudal de diseño) para tirante máximo, y de **3.6 Nm³/h** en situación de mínimo tirante. La cantidad total de aire entregada resultó de 600 Nm³/h y 216 Nm³/h, respectivamente.

Para prevenir condiciones anaeróbicas en el fondo del tanque equalizador y asegurar la mezcla del efluente, la bibliografía consultada reporta un requerimiento de aire de al menos 0.020 Nm³_{aire}/m³_{efl.}.min y una potencia mínima de 0.037 Nm³_{aire}/m².min, respectivamente [21] [46] [56]. El cumplimiento de ambas condiciones se verificó con las siguientes ecuaciones:

$$[\text{Ec. 26}] \quad Q/V_{\text{dif EC}} = (N_{\text{dif EC}} * Q_{\text{dif EC}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}) / (L_{\text{EC}} * A_{\text{EC}} * \text{Tir}_{\text{EC}})$$

$$[\text{Ec. 27}] \quad P_{\text{dif EC}} = (N_{\text{dif EC}} * Q_{\text{dif EC}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}) / (L_{\text{EC}} * A_{\text{EC}})$$

Donde:

- $Q/V_{\text{dif EC}}$ [Nm³_{aire}/m³_{efl.}.min]: Caudal de aire entregado por unidad de volumen de efluente, contemplando el aporte de todos los difusores, para tirante máximo y mínimo - $Q/V_{\text{dif EC máx}}$: **0.021 Nm³_{aire}/m³_{efl.}.min** - $Q/V_{\text{dif EC mín}}$: **0.048 Nm³_{aire}/m³_{efl.}.min**.
- $P_{\text{dif EC}}$ [Nm³_{aire}/m².min]: Caudal de aire entregado por unidad de superficie del tanque, contemplando el aporte de todos los difusores, en condiciones de tirante máximo y mínimo - $P_{\text{dif EC máx}}$: **0.102 Nm³_{aire}/m².min** - $P_{\text{dif EC mín}}$: **0.037 Nm³_{aire}/m².min**.
- $N_{\text{dif EC}}$: Cantidad de difusores instalados - 60 difusores.

- $Q_{\text{dif EC}}$ [Nm^3/h]: Caudal de operación de los difusores, en condiciones de tirante máximo y mínimo - $Q_{\text{dif EC máx}}$: $10.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ - $Q_{\text{dif EC mín}}$: $3.6 \text{ Nm}^3/\text{h}$.
- L_{EC} [m]: Largo adoptado del tanque equalizador - 14.0 m .
- A_{EC} [m]: Ancho adoptado del tanque equalizador - 7.0 m .
- Tir_{EC} [m]: Tirante máximo y mínimo - $\text{Tir}_{\text{EC máx}}$: 4.8 m - $\text{Tir}_{\text{EC mín}}$: 0.8 m .

Para alimentar los difusores de burbuja gruesa, se plantea la adquisición de **3** sopladores **Repicky R500** (ver Figura Anexo 19). En caso de máximo tirante dentro del EC (4.8 m), se proyectó la operación simultánea de 2 equipos, a un caudal de aire de **$300 \text{ Nm}^3/\text{h}$** , **$10.1 \text{ HP}$** y **$3382 \text{ rpm}$** cada uno. Por otra parte, en situación de mínimo tirante (0.8 m), se proyectó la operación de 1 soplador, a un caudal de **$216 \text{ Nm}^3/\text{h}$** , una potencia de **$1.4 \text{ HP}$** y **$2173 \text{ rpm}$** . Se alternarán periódicamente los equipos en uso, para aumentar la vida útil de los mismos.

Estación EB1: Bomba y volumen de la estación

Se proyectó instalar una bomba sumergible en la estación de bombeo EB1, capaz de elevar el efluente hasta el tanque EC anexo (7.30 m , ver Anexo IX) y de asegurar una salida mayor al máximo caudal de entrada horario posible en la estación, el cual viene dado por la suma entre el máximo caudal generado en la etapa de curtido ($34.80 \text{ m}^3/\text{h}$, ver Tabla 7) y el retorno del sistema de tratamiento de barros con cromo ($1.56 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{\text{ret EC}}$). El dispositivo elegido fue una bomba **Grundfos SL1.50.65.11.2.50B**, operando a un caudal de **$37.00 \text{ m}^3/\text{h}$** (Q_{EB1}). Las especificaciones y el punto operativo del equipo se presentan en la Figura Anexo 15.

A continuación, se dimensionó la estación tal que el ciclo de accionamiento de la bomba no supere la frecuencia límite de 30 arranques por hora ($f_{\text{max EB1}}$), reportada por el fabricante. Así, considerando una operación máxima de 12 arranques por hora ($f_{\text{o EB1}}$), se usó la expresión [Ec. 28] para calcular el mínimo volumen útil de EB1 (V_{EB1}) [68] [86]:

$$\text{[Ec. 28]} \quad V_{\text{EB1 mín}} = Q_{\text{EB1}} / (4 * f_{\text{o EB1}})$$

Donde:

- $V_{\text{EB1 mín}}$ [m^3]: Volumen útil mínimo de la estación de bombeo - **0.77 m^3** .
- Q_{EB1} [m^3/h]: Caudal de bombeo establecido para la estación EB1 - $37.00 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $f_{\text{o EB1}}$ [1/h]: Frecuencia de arranques establecida para la bomba EB1, en condiciones de mínimo tiempo de ciclo de accionamiento - 12 1/h .

En función del resultado obtenido, se proyectó la instalación de una estación de bombeo prefabricada **Grundfos PLS.D36.L120.A20.V**, de diámetro igual a **0.9 m** (D_{EB1}) y altura de **3.0 m** ($H_{\text{t EB1}}$) (ver especificaciones en Figura Anexo 18). Se estableció 2.0 y 0.7 m como

tirantes máximo y mínimo de EB1, con el fin de asegurar un desnivel hidráulico de al menos 10 cm respecto a la cámara de aforo previa y cumplir con la condición de sumergencia de la bomba elegida (0.7 m, según fabricante).

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 22: Ecuador diseñado para la línea de curtid y recurtido.

		Tirante máximo	Tirante mínimo
Tanque ecuador			
Longitud y ancho del tanque (m)	$L_{EC} - A_{EC}$	14.0 - 7.0	
Altura total del tanque (m)	H_{tEC}	5.5	
Tirante y revancha (m)	$T_{irEC} - Re_{vEC}$	4.8 - 0.7	0.8 - 4.7
Tanque ecuador: Bomba			
Marca y modelo		Grundfos - SEG.40.09.2.1.502	
Tipo de bomba		Trituradora - Sumergible	
Caudal de operación (m ³ /h)	Q_{SEC}	7.81	
Inmersión mín. y máx. (m)		0.5 - 7.0	
Tanque ecuador: Difusores de burbuja gruesa			
Marca y modelo		Repicky - CB-300	
Número de unidades	$N_{dif EC}$	60	
Densidad de difusores (difusores/m ²)	$\rho_{dif EC}$	0.61 (Rango admisible: 0.50 a 3.00)	
Caudal de aire/difusor (Nm ³ /h)	$Q_{dif EC}$	10.0	3.6
Tanque ecuador: Sopladores			
Marca y modelo		Repicky - R500	
Número de unidades	$N_{sop EC}$	3	
Número de unidades activas	$N_{sop a EC}$	2	1
Caudal de aire/soplador (Nm ³ /h)	$Q_{sop EC}$	300	216
Potencia/soplador (HP)	$P_{sop EC}$	10.1	1.4
Revoluciones del soplador (rpm)	RPM_{EC}	3382	2173
Estación de bombeo			
Marca y modelo		Grundfos - PLS.D36.L120.A20.V	
Diámetro y profundidad total (m)	$D_{EB1} - H_{tEB1}$	0.9 - 3.0	
Tirante y revancha (m)	$T_{irEB1} - Re_{vEB1}$	2.0 - 1.0	0.7 - 2.3
Estación de bombeo: Bomba			
Marca y modelo		Grundfos - SL1.50.65.11.2.50B	
Tipo de bomba		Trituradora - Sumergible	
Caudal de operación (m ³ /h)	Q_{EB1}	37.00	
Inmersión mín. y máx. (m)		0.7 - 7.0	
N° arranques máximos y operativos (1/h)	$f_{maxEB1} - f_{oEB1}$	30 - 12	



Figura 24: Esquema de ecualizador. Adaptado de referencia [21].

Tamiz rotativo

El efluente de la línea de curtido y recurtido prosigue a un tamiz rotativo. En esta instancia, el caudal de entrada a la unidad se consideró igual a 7.81 m³/h ($Q_{in\,TZ}$) y se tomaron como válidas las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 4.

Selección del tamiz rotativo

Se decidió instalar un tamiz rotativo **Defender TR 40/25**, con la adquisición de uno adicional como respaldo. El modelo seleccionado cuenta con malla perforada de **1 mm** de luz (dl_{TZ}), recomendada por el proveedor para la remoción de pelos y arenas. Su caudal máximo de operación es de 9.00 m³/h y el diámetro del conducto de salida es de **10.2 cm** (4") ($d_{or\,s\,TZ}$). Las dimensiones y características del equipo seleccionado se ven en la Figura Anexo 22.

Pérdida de carga a través de la unidad

Se verificó que la pérdida de carga en la malla del tamiz sea menor a 15 cm, en condición de una obstrucción del 50%. Las expresiones utilizadas, se presentan a continuación [56]:

$$[\text{Ec. 29}] \quad hl_{TZ\,50\%} = \left(\frac{Q_{in\,TZ}}{A_{ef\,TZ} * C_{desc\,TZ}} * \frac{1\,h}{3600\,s} \right)^2 * \frac{1}{2g} * \frac{100\,cm}{1\,m}$$

$$[\text{Ec. 30}] \quad A_{ef\,TZ} = (\pi * D_{TZ} * L_{TZ}) * Ori_{f\,m\,2\,TZ} * (\pi * dl_{TZ}^2 / 4) * C_{obs\,TZ} * C_{sum\,TZ}$$

Donde:

- $hl_{TZ\,50\%}$ [cm]: Pérdida de carga sobre el tamiz, con 50% de obstrucción - **1.0 cm**.
- $A_{ef\,TZ}$ [m²]: Superficie abierta efectiva de la malla del tamiz sumergido - **0.0080 m²**.
- $Q_{in\,TZ}$ [m³/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - 7.81 m³/h.
- $C_{desc\,TZ}$: Coeficiente de descarga, reportado en bibliografía [56] - 0.60.
- g [m/s²]: Constante de aceleración por gravedad - 9.8 m/s².
- D_{TZ} [m]: Diámetro del tambor del tamiz, reportado por el proveedor - 0.40 m.
- L_{TZ} [m]: Longitud del tambor del tamiz, reportado por el proveedor - 0.25 m.
- dl_{TZ} [m]: Diámetro de orificio en el tamiz, reportado por el proveedor - 0.001 m.

- $Orif_{m2\ TZ}$ [$orif/m^2_{TZ}$]: Cantidad de orificios en la malla por unidad de superficie del tambor del tamiz, reportado por el proveedor - 260000 orif/m².
- $C_{obs\ TZ}$: Coeficiente para una condición de 50% de obstrucción - 0.50.
- $C_{sum\ TZ}$: Coeficiente de sumergencia, para una condición en el que 1/4 del tamiz se encuentra en contacto con el efluente - 0.25.

Eficiencias de remoción

A partir de un relevamiento bibliográfico, se obtuvo la eficiencia global del tamiz para la remoción de grasas, SST, DBO y DQO (ver Tabla 23) [14] [56] [70]. Se consideró que los lodos separados no modifican sustancialmente el volumen de efluente atravesando la unidad, de esta forma, se tomó un valor de **7.81 m³/h** para el caudal de salida (Q_{sTZ}).

Tabla 23: Caracterización del efluente ingresando y egresando al tamiz rotativo.

Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
DQO (g/m ³)	6000	5100	15 %
DBO (g/m ³)	3000	2550	15 %
SST (g _{SST} /m ³)	1400	980	30 %
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	3500	3500	-
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	120	120	-
NTK (g _N /m ³)	200	200	-
Fósforo total (g _P /m ³)	5	5	-
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	6000	6000	-
pH (upH)	2.5	2.5	-
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	3000	3000	-
Grasas SSEE (g/m ³)	600	540	10 %
Detergentes SAAM (g/m ³)	60	60	-

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 24: Tamiz rotativo para la línea de curtido y recurtido.

Tamiz rotativo		
Marca y modelo		Defender - TR 40/25
Tipo de tamiz		Rotativo - Malla perforada
Caudal máximo permitido (m ³ /h)	$Q_{max\ TZ}$	9.00
Caudal de operación (m ³ /h)	$Q_{in\ TZ}$	7.81
Luz de malla (mm)	$d_{l\ TZ}$	1
Longitud del tambor (m)	L_{TZ}	0.25
Diámetro del tambor (m)	D_{TZ}	0.40
Diámetro de conducto de salida (cm)	$d_{or\ s\ TZ}$	10.2 (4")

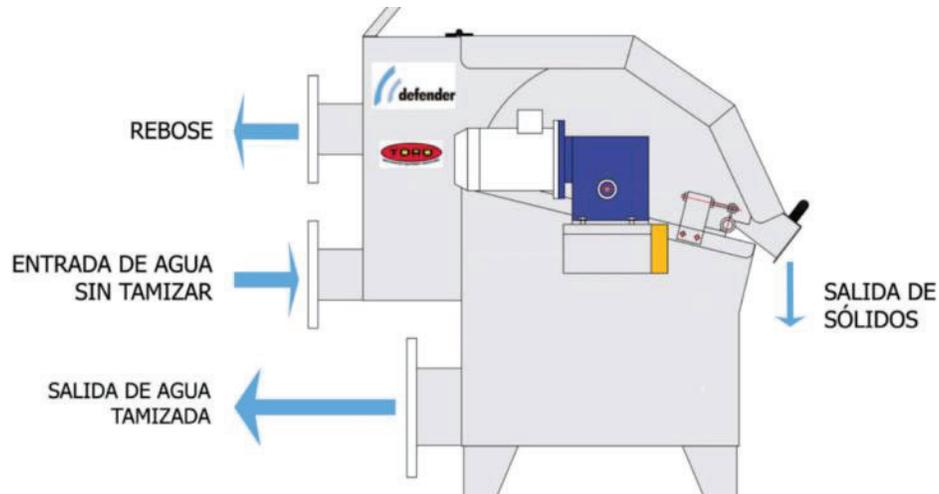


Figura 25: Esquema de tamiz rotativo. Adaptado de ref. [99].

Cámara de flotación simple

El efluente tamizado de la línea de curtido y recurtido ingresa a una cámara de flotación simple, donde se busca remover las grasas y material flotante. El caudal de entrada a la unidad se consideró igual a $7.81 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{inCF}) y se tomaron como válidas las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 23.

Volumen de la cámara de flotación

Se diseñó la cámara de flotación simple con una geometría rectangular. La longitud útil se estableció en **2.20 m** (L_{CF}) y el ancho en **0.90 m** (A_{CF}), respetando que su relación se encuentre dentro del rango 2:1-3:1 reportado en bibliografía [101]. Se concibió un tirante de **1.00 m** (Tir_{CF}) y una revancha de **0.20 m** (Re_{VCF}), resultando en un volumen útil de **1.98 m³** (V_{CF}). Finalmente, se verificó que el tiempo de retención hidráulico (TR_{CF}) se encuentre dentro del rango 15-20 minutos, reportado en bibliografía [34] [81]:

$$[\text{Ec. 31}] \quad TR_{CF} = \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * V_{CF}/Q_{inCF}$$

Donde:

- TR_{CF} [min]: Tiempo de retención hidráulico de la cámara de flotación - **15.2 min.**
- V_{CF} [m³]: Volumen útil de la cámara de flotación - **1.98 m³.**
- Q_{inCF} [m³/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - **7.81 m³/h.**

Zona de entrada y de salida

Las zonas de entrada y de salida se diseñaron como una prolongación de la cámara de flotación, de **0.20 m** de longitud cada una (L_{inCF} - L_{sCF}). Se contempló una cañería de PVC

de **10.2 cm** (4") como estructura de ingreso y egreso del efluente, la cual conserva la sección de salida del tamiz Defender y facilita su acceso durante el mantenimiento.

Se incluyeron dos pantallas de control de flujo, las cuales atraviesan la unidad a lo ancho y marcan ambos límites con la zona de flotación. Su altura sumergida de **0.75 m** (H_p CF) permite la circulación del efluente en el fondo de la cámara, por una sección de 0.25 m de altura. Para prevenir canalizaciones, se colocó una tercera pantalla en el medio y al fondo de la unidad, totalmente sumergida, con una altura de **0.30 m** (ver Figura 26) [34] [81].

Sistema de recolección de grasas y flotantes

Se plantea la instalación de un equipo comercial, para remover grasas y material flotante retenido en la cámara. El dispositivo elegido fue un *skimmer* **Smart Storm Greasebuster** (ver Figura Anexo 23), el cual cuenta con una cinta hidrofóbica rotativa capaz de recolectar flotantes y depositarlos en un recipiente colector de limpieza manual. Considerando que la cantidad de flotantes separados no modifica sustancialmente el volumen de efluente atravesando la unidad, el caudal de salida se estableció en **7.81 m³/h** (Q_{SCF}).

Eficiencias de remoción

A partir de un relevamiento bibliográfico, se obtuvo la eficiencia global de la unidad para remover grasas, DBO y DQO [3] [70] [81]. En el caso de los detergentes SAAM, se aplicó la misma eficiencia que para el sistema de flotación tipo DAF, puesto que no fue posible hallar referencias bibliográficas específicas [63] [70]. Las características fisicoquímicas resultantes del efluente egresando de la unidad, se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 25: Caracterización del efluente ingresando y egresando a la cámara de flotación simple.

Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
DQO (g/m ³)	5100	4590	10 %
DBO (g/m ³)	2550	2168	15 %
SST (g _{SST} /m ³)	980	980	-
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	3500	3500	-
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	120	120	-
NTK (g _N /m ³)	200	200	-
Fósforo total (g _P /m ³)	5	5	-
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	6000	6000	-
pH (upH)	2.5	2.5	-
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	3000	3000	-
Grasas SSEE (g/m ³)	540	108	80 %
Detergentes SAAM (g/m ³)	60	18	70 %

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 26: Cámara de flotación simple para la línea de curtido y recurtido.

Cámara de flotación simple		
Longitud total y útil de la cámara (m)	$L_{totCF} - L_{CF}$	2.60 - 2.20
Ancho de la cámara (m)	A_{CF}	0.90
Profundidad total de la cámara (m)	H_{CF}	1.20
Tirante y revancha (m)	$Tir_{CF} - Rev_{CF}$	1.00 - 0.20
Equipo de recolección de flotantes: marca y modelo		Smart Storm - Greasebuster
Zona de entrada y de salida		
Longitud zona de entrada y de salida (m)	$L_{inCF} - L_{sCF}$	0.20 - 0.20
Diámetro conductos de entrada y salida (cm)	$D_{inCF} - D_{sCF}$	10.2 (4") - 10.2 (4")
Altura sumergida de las pantallas N° 1, 2 y 3 (m)	$H_{p1CF} - H_{p2CF} - H_{p3CF}$	0.75 - 0.30 - 0.75
Distancia de pantallas a la zona de entrada (m)	$D_{p1CF} - D_{p2CF} - D_{p3CF}$	0.20 - 1.30 - 2.40

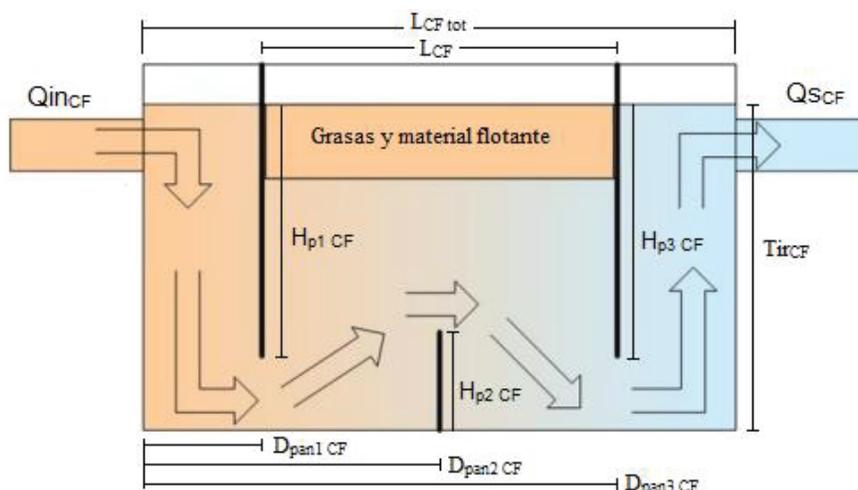


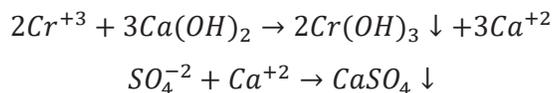
Figura 26: Esquema de cámara de flotación simple. Ref.: [108].

Unidad de precipitación de cromo

Luego de la cámara de flotación, el efluente de la línea de curtido y recurtido ingresa a una unidad de precipitación de cromo, compuesta por un tanque de mezcla rápida (TMR) y otro de mezcla lenta (TML). El caudal de entrada se consideró igual a $7.81 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{inTM}) y se tomaron como válidas las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 25.

Dosis del agente alcalinizante

El método propuesto para la remoción del cromo disuelto consiste en su precipitación química en medio alcalino controlado, usando **hidróxido de calcio** ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) como agente regulador de pH. Las ecuaciones que representan la reacción se muestran a continuación:



Teniendo en cuenta su relación estequiométrica y considerando los pesos moleculares del ion cromo y el hidróxido de calcio (51.996 g/mol y 74.093 g/mol, respectivamente), se requeriría adicionar un mínimo de 2.14 gramos de $Ca(OH)_2$ por cada gramo de Cr^{+3} a remover. Sin embargo, la eficiencia de remoción del cromo depende en gran medida del pH alcanzado al adicionar el agente alcalinizante, entre otros factores vinculados a la operación de los tanques de mezcla, por lo que su dosis óptima debe establecerse con un ensayo de tratabilidad en laboratorio. Como una aproximación, se realizó el diseño de los tanques TML y TMR en función de un relevamiento bibliográfico, a partir del cual se adoptó el pH óptimo de precipitación, la dosis de hidróxido de calcio requerida para alcanzar dicho pH, la eficiencia de remoción de cromo asociada, y las condiciones de mezcla para los tanques. Se tomaron valores medios, dando mayor jerarquía a aquellos reportados en la ref. [102].

Tabla 27: Dosis de $Ca(OH)_2$, eficiencia de remoción de cromo y condiciones de operación para los tanques de precipitación.

Parámetro	Valores relevados en bibliografía			Valor adoptado
	[58]	[59]	[102]	
pH óptimo de precipitación	9.1 - 10.9	8.6 - 10.3	9.5	9.5
Dosis agente alcalinizante ($g_{Ca(OH)_2}/g_{Cr^{+3}}$)	2.30 - 3.30	7.98	2.60	2.60
Tiempo de mezcla rápida (min)	5	1	5	5
Revoluciones por minuto - mezcla rápida (rpm)	150	90	100	120
Tiempo de mezcla lenta (min)	30	20	20	30
Revoluciones por minuto - mezcla lenta (rpm)	40	30	30	30
Eficiencia de remoción de Cr^{+3} (%)	99.83 - 99.88	99.90 - 99.97	99.99	99.97

Siendo que el efluente ingresando a la unidad tiene un caudal de 7.81 m³/h y una concentración de cromo total de 3500 g_{Cr}/m³ (ver Tabla 25), la dosis de $Ca(OH)_2$ adoptada resultó en **71.2 kg/h**. Cabe destacar que la adición de hidróxido de calcio también permite la precipitación de sulfatos, con una relación estequiométrica de 1.30 gramos de SO_4^{-2} por gramo de $Ca(OH)_2$. De esta forma, contemplando una concentración de sulfatos en el efluente de 6000 g_{SO4}/m³, se consideró condiciones de agente precipitante en exceso.

Dimensionamiento de los tanques de mezcla

Se plantea la adaptación de un tanque de agua comercial de **750 litros**, **0.97 m** de diámetro (D_{TMR}) y **1.12 m** de altura (H_{TMR}), para utilizarlo como unidad TMR (ver Figura Anexo 24). A partir de la adopción de un tirante de **0.90 m** para dicho tanque (Tir_{TMR}), se verificó que el

tiempo de retención hidráulico (TR_{TMR}) permita al menos 5 minutos de contacto entre el agente alcalinizante y el cromo disuelto (ver Tabla 27). La expresión usada, fue la siguiente:

$$[\text{Ec. 32}] \quad TR_{TMR} = (\pi * D_{TMR}^2 * Tir_{TMR}) / (Qin_{TM} * \frac{1 h}{60 min} * 4)$$

Donde:

- TR_{TMR} [min]: Tiempo de retención hidráulico del tanque de mezcla rápida - **5.11 min.**
- D_{TMR} [m]: Diámetro del tanque de mezcla rápida - 0.97 m.
- Tir_{TMR} [m]: Tirante adoptado para el tanque de mezcla rápida - 0.90 m.
- Qin_{TM} [m³/h]: Caudal de ingresando a la unidad de precipitación - 7.81 m³/h.

Para el caso del TML, se diseñó un tanque de sección cuadrada con **1.60 m** de longitud de lado (L_{TML}), posibilitando compartir pared con la unidad de tratamiento adyacente. El tirante se estableció en **1.60 m** (Tir_{TML}) y la revancha en **0.20 m** (Rev_{TML}). De manera análoga al TMR, se verificó que el tiempo de retención hidráulico (TR_{TML}) sea cercano a los 30 minutos adoptados en la Tabla 27. La expresión utilizada, se presenta a continuación:

$$[\text{Ec. 33}] \quad TR_{TML} = (L_{TML}^2 * Tir_{TML}) / (Qin_{TM} * \frac{1 h}{60 min})$$

Donde:

- TR_{TML} [min]: Tiempo de retención hidráulico del tanque de mezcla lenta - **31.5 min.**
- L_{TML} [m]: Longitud de lado del tanque de mezcla lenta - 1.60 m.
- Tir_{TML} [m]: Tirante adoptado para el tanque de mezcla lenta - 1.60 m.
- Qin_{TM} [m³/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad de precipitación - 7.81 m³/h.

Sistema de mezcla

El sistema de agitación propuesto para el TMR emplea una turbina de flujo radial, con 6 láminas cortas en un disco. Además, contempla la instalación de 4 deflectores equidistantes en las paredes, que eviten la formación de un vórtice. Para el caso del TML, se proyectó una turbina de flujo axial, con 6 láminas conectadas al eje e inclinadas a 45° (no requiere de placas deflectoras). Las dimensiones de las turbinas y deflectores se adoptaron de forma tal que se verifiquen las siguientes relaciones geométricas propuestas por ENHOSA [24]:

Tanque mezcla rápida (TMR)

$$2.7 < D_{TMR} / D_{tur_{TM}} < 3.3$$

$$2.7 < Tir_{TM} / D_{tur_{TM}} < 3.9$$

Tanque mezcla lenta (TML)

$$2.0 < L_{TML} / D_{tur_{TM}} < 6.6$$

$$2.7 < Tir_{TM} / D_{tur_{TM}} < 3.9$$

Tanque mezcla rápida (TMR)

$$0.75 < H_{tur_{TM}}/D_{tur_{TM}} < 1.3$$

$$W_{tur_{TM}} = D_{tur_{TM}}/5$$

$$L_{def_{TM}} = D_{TMR}/10$$

$$B_{tur_{TMR}} = D_{tur_{TM}}/4$$

Tanque mezcla lenta (TML)

$$0.9 < H_{tur_{TM}}/D_{tur_{TM}} < 1.1$$

$$W_{tur_{TM}} = D_{tur_{TM}}/8$$

$$L_{def_{TM}} = L_{TML}/12$$

Donde:

- $D_{tur_{TM}}$ [cm]: Diámetro de turbina de mezcla - **TMR: 30.0 cm - TML: 55.0 cm.**
- $H_{tur_{TM}}$ [cm]: Distancia turbina - fondo del tanque - **TMR: 30.0 cm - TML: 55.0 cm.**
- $W_{tur_{TM}}$ [cm]: Altura de láminas de turbina - **TMR: 6.0 cm - TML: 11.0 cm.**
- $B_{tur_{TMR}}$ [cm]: Longitud de lámina sobresaliendo el disco de la turbina - **7.5 cm.**
- $L_{def_{TM}}$ [cm]: Longitud de los deflectores - **TMR: 10.0 cm - TML: No requiere.**
- $T_{ir_{TM}}$ [cm]: Tirante de los tanques de mezcla - TMR: 90.0 cm - TML: 160.0 cm.
- D_{TMR} [cm]: Diámetro del tanque de mezcla rápida - 97.0 cm.
- L_{TML} [cm]: Longitud de lado del tanque de mezcla lenta - 160.0 cm.

Se establecieron las revoluciones por minuto de cada turbina en función de los valores adoptados en la Tabla 27 (120 rpm para TMR y 30 rpm para TML). Luego, se verificó que el gradiente de velocidad resultante en cada tanque (Gv_{TM}) se encuentre dentro del rango bibliográfico para mezclas rápidas (300-1500 s^{-1}) y lentas (10-70 s^{-1}) [24] [56]. Las expresiones utilizadas en el cálculo del gradiente de velocidad fueron:

$$[\text{Ec. 34}] \quad Gv_{TM} = \sqrt{Pd_{TM}/(V_{TM} * \mu_{efl})}$$

$$[\text{Ec. 35}] \quad Pd_{TM} = \rho_{efl} * K_{tur_{TM}} * RPM_{TM}^3 * D_{tur_{TM}}^5$$

Donde:

- Gv_{TM} [s^{-1}]: Gradiente de velocidad del tanque - **TMR: 341.8 s^{-1} - TML: 39.1 s^{-1} .**
- Pd_{TM} [W]: Potencia disipada en el efluente - **TMR: 97.0 W - TML: 6.3 W.**
- V_{TM} [m^3]: Volumen útil del tanque de mezcla - TMR: 0.67 m^3 - TML: 4.10 m^3 .
- μ_{efl} [Pa.s]: Coeficiente de viscosidad dinámica del efluente (se consideró agua a 20°C) - 1.003*10⁻³ Pa.s.
- ρ_{efl} [kg/m^3]: Densidad del efluente (se consideró agua a 20°C) - 998 kg/m^3 .
- $K_{tur_{TM}}$: Número de potencia asociado al tipo de mezclador [24] - TMR: 5 - TML: 1.
- RPM_{TM} [rpm]: Revoluciones por minuto de turbina - TMR: 120 rpm - TML: 30 rpm.
- $D_{tur_{TM}}$ [cm]: Diámetro de turbina de mezcla - TMR: 30.0 cm - TML: 55.0 cm.

Zonas de transición y de salida

Se concibió la transición entre tanques de mezcla mediante un conducto de PVC con una bifurcación, la cual permita que el efluente ingresando al TML se distribuya por dos puntos de entrada diferentes. El diámetro adoptado para el primer tramo del conducto ($D_{or\ TM\ 1tr}$) fue de **6.35 cm** (2 ½”), manteniendo dicha sección luego de la bifurcación ($D_{or\ TM\ 2tr}$).

Por su parte, la zona de salida de la unidad de precipitación se diseñó como una serie de perforaciones en la pared del TML. Se concibieron **16 orificios** ($N_{or\ TM\ s}$) de **5.00 cm** de diámetro ($D_{or\ TM\ s}$), equiespaciados en 2 filas de 8 columnas cada una. En base a recomendaciones bibliográficas, los orificios se localizaron dentro de los primeros 0.50 m de profundidad útil del TML (aproximadamente $Tir_{TML}/6$) (ver planos 6 y 7 en Anexo IX) [24].

Para mejorar la eficiencia global del proceso, se buscó asegurar un cambio gradual en el gradiente de velocidad del efluente a medida que este atraviesa la unidad de precipitación (ver Tabla 28) [15] [71]. Las siguientes expresiones se usaron para calcular el gradiente a través de los orificios o conductos de la zona de transición y zona de salida:

$$[\text{Ec. 36}] \quad Gv_{or\ TM} = v_{or\ TM}^{1.5} * \left(\frac{100\ cm}{1\ m} * \frac{D_{or\ TM}}{4} \right)^{-0.67} * n_{or\ TM} * \sqrt{\gamma_{efl}/\mu_{efl}}$$

$$[\text{Ec. 37}] \quad v_{or\ TM} = \left(Qin_{TM} * \frac{1\ h}{3600\ s} * 4 \right) / \left(N_{or\ TM} * \pi * \left(\frac{100\ cm}{1\ m} * D_{or\ TM} \right)^2 \right)$$

Donde:

- $Gv_{or\ TM}$ [s^{-1}]: Gradiente de velocidad en orificio o conducto del tramo evaluado - **Transición 1tr: 256.0 s^{-1} - Transición 2tr: 90.5 s^{-1} - Zona de salida: 15.0 s^{-1} .**
- $v_{or\ TM}$ [m/s]: Velocidad del efluente en orificio o conducto del tramo evaluado - **Transición 1tr: 0.69 m/s - Transición 2tr: 0.34 m/s - Zona de salida: 0.07 m/s.**
- $D_{or\ TM}$ [cm]: Diámetro del orificio o conducto - Transición 1tr y 2tr: 6.35 cm (2 ½”) - Zona de salida: 5.00 cm.
- Qin_{TM} [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad de precipitación - 7.81 m^3/h .
- $N_{or\ TM}$: Número de orificios o conductos por los que circula el efluente - Transición 1tr: 1 conducto - Transición 2tr: 2 conductos - Zona de salida: 16 orificios.
- $n_{or\ TM}$: Coeficiente de rugosidad de Manning (se consideró conducto de PVC y concreto) - Transición 1tr y 2tr: 0.009 - Zona de salida: 0.014.
- γ_{efl} [N/m^3]: Peso específico del efluente (se consideró agua a 20°C) - 9789 N/m^3 .
- μ_{efl} [Pa.s]: Coeficiente de viscosidad dinámica del efluente (se consideró agua a 20°C) - $1.003 \cdot 10^{-3}$ Pa.s.

Tabla 28: Transición del gradiente de velocidad (Gv) a través de la unidad de precipitación de cromo.

	TMR	Transición 1tr	Transición 2tr	TML	Salida
Gv (s ⁻¹)	341.8	256.0	90.5	39.1	15.0

Eficiencias de remoción

Se adoptó una eficiencia de remoción para Cromo total del 99.97% (reportada en Tabla 27) y para Sulfato disuelto del 90% (condiciones de agente precipitante en exceso). Si bien estos rendimientos se alcanzarían luego de un posterior proceso de sedimentación, se los atribuye a la unidad de precipitación para organizar la información de diseño.

Tabla 29: Caracterización del efluente ingresando y egresando a la unidad de precipitación de cromo (valor teórico).

Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
DQO (g/m ³)	4590	4590	-
DBO (g/m ³)	2168	2168	-
SST (g _{SST} /m ³)	980	980	-
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	3500	1.05	99.97 %
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	120	120	-
NTK (g _N /m ³)	200	200	-
Fósforo total (g _P /m ³)	5	5	-
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	6000	600	90 %
pH (upH)	2.5	9.5	Alcalinización
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	3000	3000	-
Grasas SSEE (g/m ³)	108	108	-
Detergentes SAAM (g/m ³)	18	18	-

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 30: Unidad de precipitación de cromo para la línea de curtido y recurtido.

		Tanque mezcla rápida	Tanque mezcla lenta
Tanques de mezcla			
Diámetro del tanque (m)	D _{TM}	0.97	-
Longitud del lado del tanque (m)	L _{TM}	-	1.60
Profundidad total del tanque (m)	H _{TM}	1.12	1.80
Tirante y revancha (m)	Tir _{TM} - Rev _{TM}	0.90 - 0.22	1.60 - 0.20
Dosis de hidróxido de calcio (kg/h)		71.2 (Dosis específica: 2.60 g Ca(OH) ₂ /g Cr ⁺³)	
Sistema de mezcla			
Descripción del sistema de mezcla		Motorreductor más turbina de flujo radial, con 6 láminas cortas en un disco	Motorreductor más turbina de flujo axial, con 6 láminas inclinadas a 45°

		Tanque mezcla rápida	Tanque mezcla lenta
Diámetro de turbina de mezcla (cm)	D_{turTM}	30.0	55.0
Dist. de turbina al fondo del tanque (cm)	H_{turTM}	30.0	55.0
Altura de láminas de turbina (cm)	W_{turTM}	6.0	11.0
Longitud de lámina sobresaliendo el disco de la turbina (cm)	B_{turTMR}	7.5	-
Revoluciones de la turbina (rpm)	RPM_{TM}	120	30
Estructura anti vórtice		4 deflectores longitudinales, equidistantes, montados en las paredes internas del TMR	
Longitud de los deflectores (cm)	L_{defTM}	10.0	-
Zona de transición y de salida			
Estructura de transición		Conducto de PVC con bifurcación	
Diámetro de conductos (cm)	$D_{or TM tr}$	6.35 (2 1/2")	
Estructura de salida		16 orificios localizados en los primeros 0.5 m de profundidad útil del TML	
Diámetro de orificios (cm)	$D_{or TM s}$	5.00	

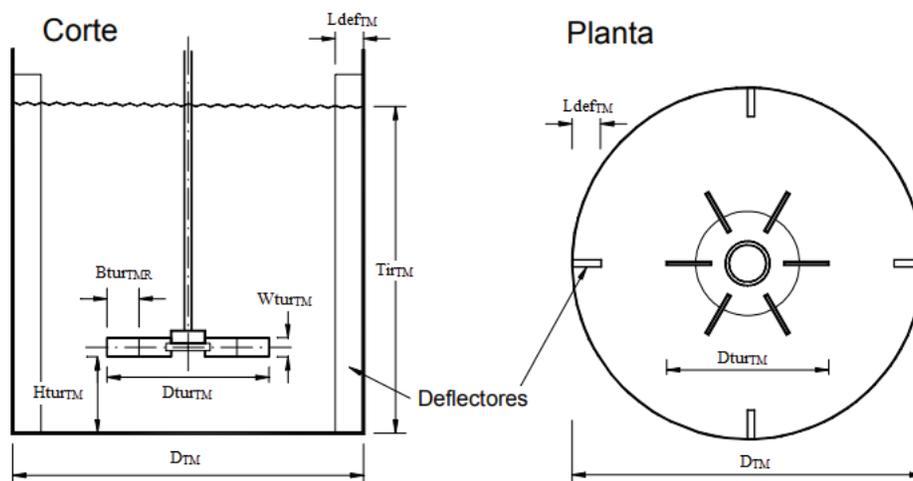


Figura 27: Esquema de tanque de mezcla rápida (TMR). Ref.: [24].

Sedimentador primario

El cromo precipitado es removido mediante un sedimentador primario (S1) concebido para tal fin. El caudal de entrada a la unidad se consideró igual a $7.81 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{ins1}) y se tomaron como válidas las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 29.

Balance de caudales

La tasa de generación de barros en el sedimentador primario se estimó en **20%** del volumen de efluente tratado, de acuerdo con el relevamiento bibliográfico efectuado [58] [59]. A partir de este dato, se realizó el siguiente balance de caudales en la unidad (ver Figura 30):

$$[\text{Ec. 38}] \quad Q_{b_{S1}} = Q_{in_{S1}} * \frac{20\%}{100\%}$$

$$[\text{Ec. 39}] \quad Q_{S1} = Q_{in_{S1}} - Q_{b_{S1}}$$

Donde:

- $Q_{b_{S1}}$ [m^3/h]: Caudal de generación de barros de la unidad - **1.56 m^3/h** .
- Q_{S1} [m^3/h]: Caudal de efluente clarificado, saliendo de la unidad - **6.25 m^3/h** .
- $Q_{in_{S1}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - 7.81 m^3/h .

Zona de sedimentación

Se diseñó el sedimentador primario con una geometría rectangular, tal que comparta pared con la unidad de tratamiento previa (TML - Unidad de precipitación de cromo). La longitud se estableció en **4.00 m** ($L_{sed_{S1}}$) y el ancho en **1.60 m** ($A_{sed_{S1}}$), cuidando que su relación se halle dentro del rango 2/1-5/1 relevado en bibliografía ($L_{sed_{S1}}/A_{sed_{S1}}$ de 2.5/1) [16] [24]. Por otra parte, la revancha se definió en **0.20 m** (Rev_{S1}) y la profundidad útil en **3.10 m** ($H_{sed_{S1}}$), respetando el rango informado en bibliografía de 2.5-5.0 m [16] [36] [56] [81].

Una vez establecidas las dimensiones de la unidad, se verificó que la carga superficial del sedimentador ($C_{sup_{S1}}$) se encuentre entre los valores 24.8-36.4 $\text{m}^3/\text{d}.\text{m}^2$, reportados en bibliografía para remoción de cromo por decantación [102]. También se verificó que el tiempo de retención hidráulico (TR_{S1}) y la velocidad de escurrimiento (ve_{S1}) se encuentren dentro del rango característico hallado en bibliografía para sedimentadores primarios, de 1.5-3.0 h y < 0.50 cm/s, respectivamente [36] [56] [81] [109]. Las expresiones utilizadas, fueron:

$$[\text{Ec. 40}] \quad TR_{S1} = (L_{sed_{S1}} * A_{sed_{S1}} * H_{sed_{S1}})/(Q_{in_{S1}})$$

$$[\text{Ec. 41}] \quad C_{sup_{S1}} = \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} * H_{sed_{S1}}/TR_{S1}$$

$$[\text{Ec. 42}] \quad ve_{S1} = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * L_{sed_{S1}}/TR_{S1}$$

Donde:

- TR_{S1} [h]: Tiempo de retención hidráulico del sedimentador - **2.54 h**.
- $C_{sup_{S1}}$ [$\text{m}^3/\text{d}.\text{m}^2$]: Carga superficial aplicada sobre la unidad - **29.3 $\text{m}^3/\text{d}.\text{m}^2$** .
- ve_{S1} [cm/s]: Velocidad de escurrimiento del sedimentador - **0.04 cm/s**.
- $Q_{in_{S1}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - 7.81 m^3/h .
- $L_{sed_{S1}}$ [m]: Longitud de la zona de sedimentación - 4.00 m.
- $A_{sed_{S1}}$ [m]: Ancho de la zona de sedimentación - 1.60 m.
- $H_{sed_{S1}}$ [m]: Profundidad útil de la zona de sedimentación - 3.10 m.

Zonas de transición y de entrada

Se plantea que el sedimentador primario comparta pared con la unidad de precipitación de cromo (TML), contemplando una cámara intermedia que sirva como transición entre ambas unidades. La profundidad útil (H_{ctS1}) y el ancho (A_{ctS1}) de dicha cámara intermedia se establecieron iguales a los de la zona de sedimentación, **3.10 m** y **1.60 m**, respectivamente. Además, se adoptó una longitud de **0.80 m** (L_{ctS1}), coincidente con el alcance de los chorros sumergidos ocasionados en los orificios de la zona de salida del TML (X_{0S1}) [24] [109]:

$$[\text{Ec. 43}] \quad X_{0S1} = S_{0S1} * F(Re_{TMLS})_{S1} \quad [\text{Ec. 44}] \quad Re_{TMLS} = (v_{orTMLS} * D_{orTMLS}) / \mu_{efl}$$

Donde:

- X_{0S1} [m]: Alcance de los chorros sumergidos de la zona de salida del TML - **0.83 m**.
- S_{0S1} [m]: Distancia entre centros de orificios, para la zona de salida del TML (ver plano 8 en Anexo IX) - 0.18 m.
- $F(Re_{TMLS})_{S1}$ [m/m]: Relación entre X_{0S1} y S_{0S1} , obtenida gráficamente a partir del número de Reynolds (ver Figura Anexo 25) - 4.5 m/m.
- Re_{TMLS} : Número de Reynolds en los orificios de la zona de salida del TML - 3444.
- v_{orTMLS} [m/s]: Velocidad en los orificios de la zona de salida del TML - 0.07 m/s.
- D_{orTMLS} [m]: Diámetro de orificios de la zona de salida del TML - 0.05 m.
- μ_{efl} [Pa.s]: Coeficiente de viscosidad dinámica del efluente (se consideró agua a 20°C) - $1.003 \cdot 10^{-3}$ Pa.s.

El ingreso del efluente a la zona de sedimentación de la unidad se concibió a través de una placa perforada, la cual también establece el final de la cámara de transición intermedia. La misma se diseñó con **150 orificios de 3.00 cm** de diámetro, equiespaciados en 15 filas de 10 columnas cada una. Su profundidad sumergida (H_{ppS1}) y ancho (A_{ppS1}) se establecieron iguales a los de la zona de sedimentación (**3.10 m** y **1.60 m**, respectivamente), donde la franja comprendida entre los 0.80 m y 2.60 m de profundidad útil se utilizó para localizar los orificios de paso (aproximadamente $1/4 H_{sedS1}$ y $5/6 H_{sedS1}$, respectivamente) [24] [109].

Para evitar la dispersión del cromo precipitado, se verificó que el gradiente de velocidad del efluente en la zona de entrada del sedimentador sea menor al de la zona de salida del Tanque de Mezcla Lenta, de 15.0 s^{-1} [15]. Las expresiones utilizadas fueron las mismas que en el caso del TML, [Ec. 36] [Ec. 37]. Reemplazando el diámetro y número de orificios por los valores definidos para la placa perforada, y considerando un coeficiente de rugosidad de Manning para metal liso de 0.010, el resultado obtenido fue de **2.4 s^{-1}** .

Zona de salida

El sedimentador cuenta con una pantalla defleitora, la cual atraviesa la unidad a lo ancho para prevenir un arrastre de material flotante junto con el efluente clarificado. La profundidad sumergida se estableció en **0.50 m** ($H_{pd_{S1}}$), y la distancia a la descarga en 20 cm.

Para permitir la salida del efluente clarificado, se optó por instalar **12** vertederos triangulares tipo Thompson sobre la pared opuesta a la zona de entrada (ver Figura 28). Los mismos se diseñaron con un ángulo de apertura de **90°** ($\alpha_{vt_{S1}}$), un ancho de **6.0 cm** ($Av_{t_{S1}}$), y una altura de **10.0 cm** ($H_{vt_{S1}}$). La altura del tramo en forma de "V" ($H_{vtv_{S1}}$) se obtuvo por trigonometría, resultando en **3.0 cm**. La distancia entre vertederos (dvt_{S1}), se calculó a continuación:

$$[\text{Ec. 45}] \quad dvt_{S1} = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * (Ased_{S1} - Nvt_{S1} * Av_{t_{S1}}) / (Nvt_{S1} + 1)$$

Donde:

- dvt_{S1} [cm]: Distancia entre vertederos Thompson - **6.8 cm**.
- $Ased_{S1}$ [m]: Ancho de la zona de sedimentación - 1.60 m.
- Nvt_{S1} : Número de vertederos Thompson en la zona de salida de la unidad - 12.
- $Av_{t_{S1}}$ [m]: Ancho de cada vertedero Thompson - 0.06 m.

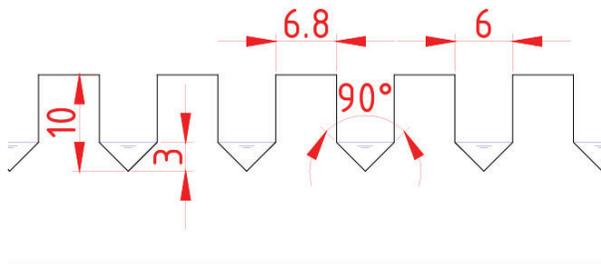


Figura 28: Esquema de vertederos triangulares tipo Thompson. Cotas en centímetros.

Una vez definidas su cantidad y dimensiones, se verificó que la carga sobre los vertederos (Cvt_{S1}) se encuentre entre los valores 5-15 $m^3/h.m$, y que el caudal recolectado por metro lineal (Qad_{S1}) sea menor a 6.5 $m^3/h.m$, respetando los rangos relevados en bibliografía [24] [36] [81]. Además, se comprobó que el tirante sobre el vértice de la estructura (hvt_{S1}) sea menor a 3.0 cm, tal de asegurar una revancha de 7.0 cm. Las expresiones usadas, fueron:

$$[\text{Ec. 46}] \quad Cvt_{S1} = Q_{S1} / (Nvt_{S1} * Av_{t_{S1}}) \qquad [\text{Ec. 47}] \quad Qad_{S1} = Q_{S1} / Ased_{S1}$$

$$[\text{Ec. 48}] \quad hvt_{S1} = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * \left(\frac{Q_{S1}}{Nvt_{S1}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1}{1.32 * tg(\alpha_{vt_{S1}}/2)} \right)^{0.405}$$

Donde:

- Cvt_{S1} [$m^3/h.m$]: Carga sobre el vértice de cada vertedero Thompson - **8.7 $m^3/h.m$** .

- Q_{adS1} [$m^3/h.m$]: Caudal de clarificado recolectado por metro lineal - **3.9 $m^3/h.m$** .
- h_{vtS1} [cm]: Tirante sobre el vértice de cada vertedero Thompson - **2.5 cm**.
- Q_{sS1} [m^3/h]: Caudal de efluente clarificado, saliendo de la unidad - 6.25 m^3/h .
- N_{vtS1} : Número de vertederos Thompson en la zona de salida de la unidad - 12.
- A_{vtS1} [m]: Ancho de cada vertedero Thompson - 0.06 m.
- A_{sedS1} [m]: Ancho de la zona de sedimentación - 1.60 m.
- α_{vtS1} [°]: Ángulo del inciso en forma de "V" del vertedero Thompson - 90°.

Luego de atravesar los vertederos por rebalse, el efluente clarificado es recolectado en una canaleta que recorre la zona de salida del sedimentador a lo ancho. La misma se diseñó con una sección cuadrada de **20.0 cm** de lado (L_{ctaS1}), y una pendiente de **0.5%** (α_{ctaS1}). Utilizando la siguiente expresión, se calculó el tirante máximo en la canaleta (h_{omS1}), el cual verifica una revancha de al menos 10.0 cm en la misma [24]:

$$[Ec. 49] \quad h_{omS1} = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * (Q_{sS1})^{1/1.5} / [1.38 * L_{ctaS1}]$$

Donde:

- h_{omS1} [cm]: Tirante máximo en el interior de la canaleta de recolección - **5.2 cm**.
- Q_{sS1} [m^3/h]: Caudal de efluente clarificado, saliendo de la unidad - 6.25 m^3/h .
- L_{ctaS1} [m]: Longitud de lado de la canaleta de recolección - 0.20 m.

Zona de lodos

El fondo del sedimentador se diseñó considerando dos partes diferenciadas (ver Figura 29): una sección inicial, junto a la zona de entrada del efluente, donde se proyectó una tolva para la recepción de barros (los mismos son extraídos por bombeo e impulsados al sistema de tratamiento de lodos con cromo); y una sección final, concebida como un plano inclinado, donde un barredor de fondos arrastra el material sedimentado hacia la tolva.

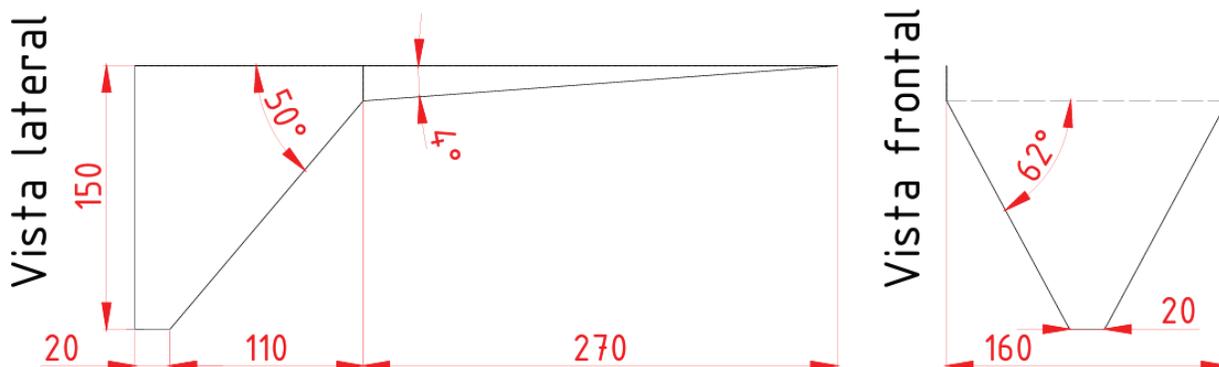


Figura 29: Esquema de la zona de lodos del sedimentador primario. Cotado en centímetros.

La transición entre secciones se concibió a 1.30 m de la zona de entrada (aprox. $L_{sed_{S1}}/3$), y a 0.20 m de profundidad en relación a la zona de sedimentación. Una vez establecida, se verificó que la pendiente longitudinal resultante para la segunda sección, aledaña a la zona de salida, se encuentre dentro del rango 1.1-4.7° reportado en bibliografía [21] [48]:

$$[\text{Ec. 50}] \quad \theta b_{2S1} = \text{atan}\left(\frac{0.20 \text{ m}}{L_{sed_{S1}} - 1.30 \text{ m}}\right)$$

Donde:

- θb_{2S1} [°]: Pendiente longitudinal en el fondo de la unidad, para la sección de la zona de barros aledaña a la zona de salida - **4.2°**.
- $L_{sed_{S1}}$ [m]: Longitud de la zona de sedimentación - 4.00 m.

Para la sección aledaña a la zona de entrada, se proyectó una tolva con geometría de pirámide truncada invertida, de base cuadrada, cuya arista menor interseca con el plano que forma la placa perforada de ingreso a la unidad (ver Figura 29). La base de la tolva se dimensionó con una longitud de **20 cm** por lado ($L_{tolva_{S1}}$), y se localizó en el eje de simetría de la unidad, a una profundidad de **1.50 m** respecto a la zona de sedimentación ($H_{tolva_{S1}}$). Utilizando relaciones trigonométricas, se verificó que las pendientes resultantes de la tolva respeten el valor mínimo de 50° reportado en bibliografía [24]:

$$[\text{Ec. 51}] \quad \theta b_{1S1} = \text{atan}([H_{tolva_{S1}} - 0.20 \text{ m}]/[1.30 \text{ m} - L_{tolva_{S1}}])$$

$$[\text{Ec. 52}] \quad \alpha b_{1S1} = \text{atan}([H_{tolva_{S1}} - 0.20 \text{ m}]/[(A_{sed_{S1}} - L_{tolva_{S1}})/2])$$

Donde:

- θb_{1S1} [°]: Pendiente longitudinal para la tolva de barros - **50°**.
- αb_{1S1} [°]: Pendientes laterales para la tolva de barros - **62°**.
- $H_{tolva_{S1}}$ [m]: Profundidad de tolva, en relación a la zona de sedimentación - 1.50 m.
- $L_{tolva_{S1}}$ [m]: Longitud de lado usada en la base de la tolva para barros - 0.20 m.
- $A_{sed_{S1}}$ [m]: Ancho de la zona de sedimentación - 1.60 m.
- $L_{sed_{S1}}$ [m]: Longitud de la zona de sedimentación - 4.00 m.

Sistema de extracción de barros

Se plantea la instalación de un rascador mecánico de cadena, capaz de transportar los barros sedimentados hacia el interior de la tolva, y el material flotante retenido hacia una trampa de sólidos aledaña a la pantalla deflectora. La velocidad de funcionamiento se estableció en 30 cm/min, respetando el valor máximo informado en bibliografía [21] [24].

Los lodos son extraídos por una bomba de succión inundada **EDDY Pump HD1K**, operando a un caudal de **1.56 m³/h** (Q_{bS1}) (ver especificaciones en Figura Anexo 34). El diámetro de la cañería de descarga se estableció de **5.08 cm** (2") (D_{bS1}), el cual es compatible con las dimensiones establecidas para la tolva y con la sección de salida de la bomba seleccionada.

Eficiencias de remoción

A partir de un relevamiento bibliográfico, se obtuvo la eficiencia global de la unidad para la remoción DBO, DQO, SST y grasas [14] [48] [56] [70]. Se usaron valores correspondientes a una sedimentación primaria, sin el agregado de coagulantes o floculantes. La Tabla 31 presenta las características fisicoquímicas resultantes del efluente egresando de la unidad:

Tabla 31: Caracterización del efluente ingresando y egresando al sedimentador primario.

Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
DQO (g/m ³)	4590	2295	50 %
DBO (g/m ³)	2168	1301	40 %
SST (g _{SST} /m ³)	980	294	70 %
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	1.05	1.05	-
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	120	120	-
NTK (g _N /m ³)	200	200	-
Fósforo total (g _P /m ³)	5	5	-
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	600	600	-
pH (upH)	9.5	9.5	-
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	3000	3000	-
Grasas SSEE (g/m ³)	108	54	50 %
Detergentes SAAM (g/m ³)	18	18	-

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 32: Sedimentador primario para la línea de curtido y recurtido.

Zona de transición y de entrada		
Estructura de transición		Cámara intermedia, entre TML y S1
Longitud cámara de transición (m)	L _{ctS1}	0.80
Ancho cámara de transición (m)	A _{ctS1}	1.60
Profundidad útil y revancha cámara de transición (m)	H _{ctS1} - Rev _{ctS1}	3.10 - 0.20
Estructura de entrada		Placa con perforaciones en la franja 0.80-2.60 m de profundidad útil
Ancho placa perforada (m)	A _{ppS1}	1.60
Profundidad sumergida placa perforada (m)	H _{ppS1}	3.10
Número y diámetro de orificios (cm)	N _{or S1} - D _{or S1}	150 orif. - 3.00

Zona de sedimentación		
Longitud zona de sedimentación (m)	L_{sedS1}	4.00
Ancho zona de sedimentación (m)	A_{sedS1}	1.60
Profundidad zona de sedimentación (m)	H_{sedS1}	3.10
Revancha sedimentador (m)	Rev_{S1}	0.20
Zona de salida		
Estructura de retención del material flotante		Pantalla deflectora, ubicada a 20 cm de los vertederos de descarga
Profundidad sumergida de pantalla deflectora (m)	H_{pdS1}	0.50
Estructura de salida		12 vertederos Thompson equiespaciados
Ángulo de apertura (°)	α_{vtS1}	90
Alto de vertedero (total - tramo en "V") (cm)	$H_{vts1} - H_{vtvS1}$	10.0 - 3.0
Revancha en vertederos (cm)	Rev_{vtS1}	7.5
Ancho y distancia entre vertederos (cm)	$A_{vtS1} - d_{vtS1}$	6.0 - 6.8
Estructura de recolección		Canaleta de sección cuadrada
Longitud de lado de canaleta (cm)	L_{ctaS1}	20
Revancha en canaleta (cm)	Rev_{ctaS1}	15
Zona de lodos		
Estructura de la zona de lodos		1er sec.: Tolva de recepción 2da sec.: Plano inclinado
Pendiente longitudinal (1er sec. - 2da sec.) (°)	$\theta_{b1S1} - \theta_{b2S1}$	50 - 4
Pendientes laterales (1er sec. - 2da sec.) (°)	$\alpha_{b1S1} - \alpha_{b2S1}$	62 - 0
Longitud de lado de base de la tolva (cm)	$L_{tolvaS1}$	20
Profundidad de tolva, respecto a zona de sed. (m)	$H_{tolvaS1}$	1.50
Sistema de recolección de barros		
Sistema de barrido de fondo y superficie		Rascador mecánico de cadena
Velocidad de funcionamiento de barredor (cm/min)		30
Marca y modelo de bomba de succión de barros		EDDY Pump - HD1K
Diámetro de cañería de descarga (cm)	D_{bs1}	5.08 (2")
Caudal de extracción de barros (m ³ /h)	Q_{bs1}	1.56

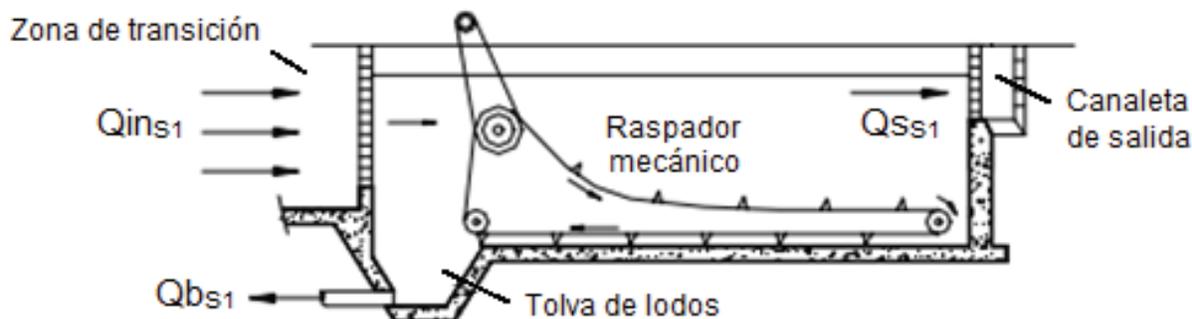


Figura 30: Esquema de sedimentador primario con barredor de fondo. Ref.: [24].

Línea de terminación

Sistema de desbaste: Canasto

Los efluentes generados durante la etapa de terminación son conducidos hasta un canasto de acero inoxidable, el cual busca retener objetos de mayor tamaño que pudieran ser arrastrados en la línea, evitando el atascamiento de cañerías y electromecánicos.

Dimensionamiento del canasto

Se diseñó el canasto con barrotes de **5 mm** (D_{cto}) y una luz de **10 mm** (b_{cto}), equivalente al caso de las rejas finas en la línea de curtido y recurtido. La profundidad (H_{cto}), longitud (L_{cto}) y ancho (A_{cto}) de la unidad, se establecieron buscando facilitar el empotramiento en el canal asociado al vertedero de pared delgada instalado a continuación (ver Tabla 33).

Sistema de recolección de sólidos

La limpieza del canasto se concibió de forma manual. Utilizando un sistema de izamiento por cadena, la unidad puede ser elevada y vaciada.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 33: Canasto diseñado para la línea de terminación.

Canasto		
Longitud del canasto (m)	L_{cto}	0.30
Ancho del canasto (m)	B_{cto}	0.80
Profundidad del canasto (m)	H_{cto}	0.30
Diámetro de barrotes (mm)	D_{cto}	5
Separación de barrotes (mm)	b_{cto}	10

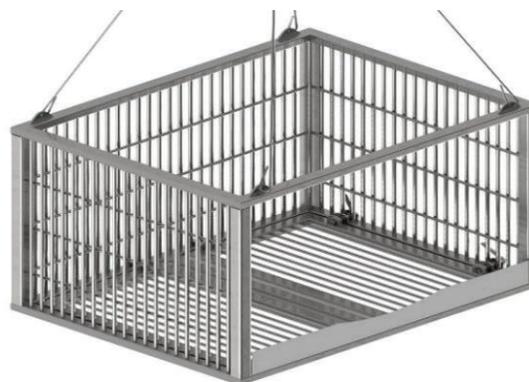


Figura 31: Esquema de canasto de desbaste. Ref.: [77].

Aforador: vertedero de pared delgada

Posterior al canasto de desbaste, el efluente de la línea de terminación ingresa a un canal aforador tipo vertedero de pared delgada. Se consideró un caudal de entrada variable, tal como fue expuesto en la Tabla 7 de la sección de Caracterización del efluente de proceso. La metodología de diseño fue análoga a la del vertedero de la línea de curtido y recurtido.

Carga sobre el vertedero

Se seleccionó un vertedero triangular, con un ángulo de abertura de **30°** y una regla de medición de **20 cm** de longitud. Utilizando la ecuación [Ec. 19], se verificó la carga sobre el

vértice del vertedero (h_{v_v}) en condiciones de caudal de generación medio ($3.11 \text{ m}^3/\text{h}$), máximo ($4.64 \text{ m}^3/\text{h}$) y mínimo distinto de cero ($1.04 \text{ m}^3/\text{h}$). Los resultados obtenidos, fueron **$h_{v_v \text{ medio}}: 9 \text{ cm} - h_{v_v \text{ máx}}: 10 \text{ cm} - h_{v_v \text{ mín}}: 6 \text{ cm}$** . En todos los casos, las cargas respetaron el criterio de encontrarse dentro del rango 5-15 cm [67].

Dimensionamiento del canal

Las dimensiones del canal se establecieron en base a los criterios presentados en [Ec. 20], [Ec. 21], [Ec. 22] y [Ec. 23], reemplazando la carga máxima sobre el vértice del vertedero ($h_{v_v \text{ máx}}$) por el valor calculado anteriormente de 10 cm (ver resultados en la Tabla 34). La longitud del canal (L_{c_v}) también consideró el largo del canasto de desbaste empotrado.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 34: Vertedero de pared delgada diseñado para la línea de terminación.

Canal			Vertedero		
Longitud del canal (m)	L_{c_v}	1.30	Tipo de abertura		Triangular
Ancho de canal (m)	B_{c_v}	0.80	Angulo de vertedero ($^\circ$)	α_v	30
Profundidad de canal (m)	H_{c_v}	0.90	Altura base de vertedero (m)	p_v	0.50
Revancha (m)	Rev_v	0.30	Distancia de medición (m)	L_{h_v}	0.50

Tanque ecualizador y estación de bombeo

Los efluentes generados durante la etapa de terminación son volcados a una estación de bombeo (EB2), para luego ser elevados a un tanque ecualizador (ET). La metodología de diseño empleada fue análoga al caso de EC y EB1 de la línea de curtido y recurtido.

Volumen de la cámara de ecualización

La cámara de ecualización se diseñó para poder homogeneizar la composición del efluente ingresando en la unidad, asegurando a su vez un caudal de salida constante. Se consideró como ingreso las aguas residuales de la etapa de terminación, cuyo caudal de generación horario se extrajo de la Tabla 7. Por otra parte, el caudal de salida (Q_{SET}) se calculó con la ecuación [Ec. 24] (sin considerar recirculación), dando como resultado **$0.83 \text{ m}^3/\text{h}$** .

Una vez establecidos los caudales de entrada y salida, se graficó el volumen acumulado de efluente en la unidad (ver Figura 32). A partir de la diferencia máxima positiva ($\Delta V1: 6.7 \text{ m}^3$) y negativa ($\Delta V2: -45.8 \text{ m}^3$) entre las corrientes de ingreso y egreso al ecualizador, y usando la ecuación [Ec. 25], se calculó un volumen mínimo para el tanque de 63.0 m^3 ($V_{ET \text{ mín}}$). En base a este resultado, se adoptó un volumen total para la cámara de **75.6 m^3** (V_{ET}). Luego,

considerando una geometría rectangular, se establecieron la longitud (L_{ET}), el ancho (A_{ET}) y la altura total (H_{tET}) de la unidad en **6.0**, **3.0** y **4.2 m**, respectivamente.

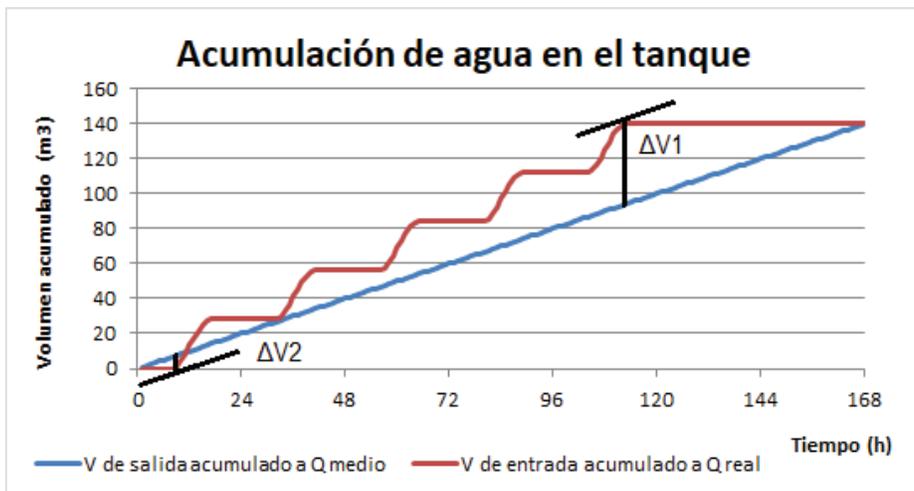


Figura 32: Volumen acumulado de efluente ingresando en el tanque (rojo) y volumen acumulado de salida (azul), a lo largo de toda una semana. En negro, los valores de ΔV utilizados para el diseño del ecualizador. Tiempo de inicio: lunes a las 0:00 h.

Bomba de evacuación del efluente

Se plantea la instalación de una bomba sumergible, capaz de asegurar un caudal de salida de $0.83 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{SET}), al mismo tiempo que entregue una altura capaz de superar el tirante máximo del ecualizador (3.7 m) y permitir que las siguientes unidades de tratamiento operen por gravedad (0.5 m, ver Anexo IX). Se optó por adquirir 2 bombas que accionen de forma alternada, marca **Grundfos**, modelo **SLV.65.65.09.2.50B**. Las especificaciones y el punto operativo, se presentan en la Figura Anexo 17.

Para asegurar el correcto funcionamiento de las bombas elegidas, el fabricante reporta un tirante mínimo requerido de 0.5 m. Esta condición de sumergencia se verificó asegurando un volumen inicial de 20 m^3 en del ecualizador, tal como se evidencia en la Figura 33.

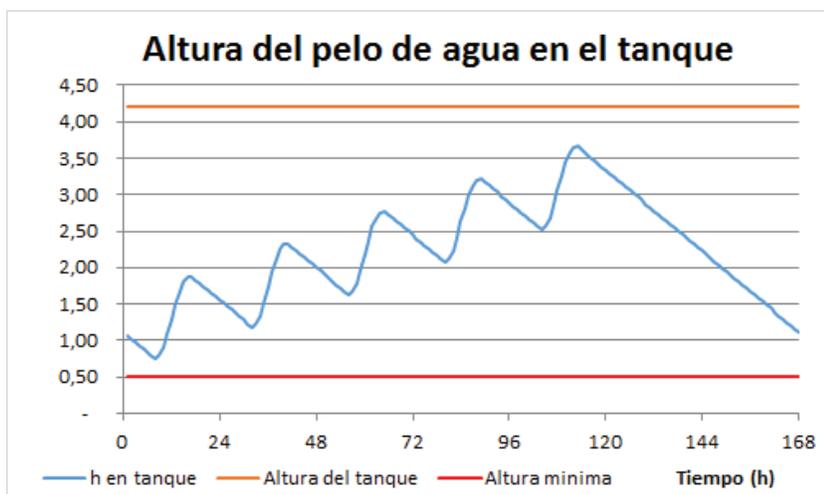


Figura 33: Azul: Variación temporal de la altura del efluente de terminación en el tanque de ecualización, a lo largo de una semana, considerando un volumen de llenado inicial de 20 m^3 . Naranja: Altura del tanque (4.2 m). Rojo: Altura mínima del pelo de agua (0.5 m). Tiempo de inicio: lunes a las 0:00 h.

Sistema de regulación de pH

Con el fin de asegurar un pH de 6, adecuado para el proceso de coagulación y floculación posterior, se contempló la instalación de una bomba dosificadora para la inyección directa de **ácido sulfúrico** (H_2SO_4) e **hidróxido de sodio** (NaOH) en solución al equalizador [117]. El valor de pH a alcanzar debe verificarse periódicamente mediante un ensayo Jar-Test.

Sistema de mezcla y aireación

Se plantea la instalación de **10** difusores de burbuja gruesa **Repicky CB-300**, como sistema de mezcla y aireación del equalizador (ver Figura Anexo 20). Con un rango de 3-25 Nm^3/h , el caudal de aire por difusor se estableció en **10.0 Nm^3/h** para condición de tirante máximo (caudal de diseño reportado por el proveedor) y en **4.0 Nm^3/h** para caso de tirante mínimo, resultando en una cantidad total de aire entregada de 100 y 40 Nm^3/h , respectivamente.

Para prevenir la formación de un medio anaeróbico en el fondo del equalizador y asegurar la mezcla del efluente, la bibliografía consultada reporta un requerimiento mínimo de aire de $0.020 Nm^3_{aire}/m^3_{efl. min}$ ($Q/V_{dif ET}$) y una potencia de $0.037 Nm^3_{aire}/m^2. min$ ($P_{dif ET}$) [21] [56]. El cumplimiento de ambas condiciones se verificó con [Ec. 26] y [Ec. 27], resultando en un $Q/V_{dif ET}$ de **0.025 $Nm^3_{aire}/m^3_{efl. min}$** y $P_{dif ET}$ de **0.093 $Nm^3_{aire}/m^2. min$** para tirante máximo de 3.7 m, y de **0.050 $Nm^3_{aire}/m^3_{efl. min}$** y **0.037 $Nm^3_{aire}/m^2. min$** para tirante mínimo de 0.7 m.

La alimentación de los difusores de burbuja se concibió mediante **2** sopladores **Repicky R200** (ver Figura Anexo 19), los cuales operarán de forma alternada para aumentar su vida útil. Las condiciones de operación adoptadas en situación de tirante máximo y mínimo dentro del tanque equalizador, se presentan en la Tabla 35.

Estación EB2: Bomba y volumen de la estación

Se decidió instalar una bomba sumergible en la estación de bombeo EB2, capaz de elevar el efluente hasta el tanque ET anexo (5.50 m, ver Anexo IX) y de asegurar una salida mayor al máximo caudal generado en la etapa de terminación ($4.64 m^3/h$, ver Tabla 7). El equipo elegido fue una bomba **Grundfos SLV.65.65.09.2.50B**, la misma que para el equalizador ET, operando a un caudal de **5.00 m^3/h** (Q_{EB2}) (ver especificaciones en Anexo IV).

De forma análoga al caso de la línea de curtidero, se dimensionó la estación EB2 tal que el ciclo de accionamiento de la bomba no supere la frecuencia límite de 30 arranques por hora ($f_{max EB2}$) reportada por el fabricante. Así, se utilizó la expresión [Ec. 28] para calcular el mínimo volumen útil de la estación (V_{EB2}), contemplando una frecuencia operativa máxima de 10 arranques por hora ($f_{o EB2}$). El resultado obtenido fue de **0.13 m^3** .

A raíz del valor de V_{EB2} obtenido, se proyectó la instalación de una estación prefabricada **Grundfos PLS.D36.L96.A20.V**, la cual posee una altura total de **2.4 m** (H_{tEB2}) y un diámetro de **0.9 m** (D_{EB2}) (ver Figura Anexo 18). Se estableció 1.5 y 0.5 m como tirantes máximo y mínimo de EB2, tal de asegurar un desnivel hidráulico mayor a 10 cm respecto al aforador previo y cumplir con la condición de sumergencia reportada para la bomba elegida (50 cm).

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 35: Ecuilizador diseñado para la línea de terminación.

		Tirante máximo	Tirante mínimo
Tanque ecualizador			
Longitud y ancho del tanque (m)	$L_{ET} - A_{ET}$	6.0 - 3.0	
Altura total del tanque (m)	H_{tET}	4.2	
Tirante y revancha (m)	$Tir_{ET} - Rev_{ET}$	3.7 - 0.5	0.7 - 3.5
Tanque ecualizador: Bomba			
Marca y modelo		Grundfos - SLV.65.65.09.2.50B	
Tipo de bomba		Sumergible	
Caudal de operación (m ³ /h)	Q_{SET}	0.83	
Inmersión mín. y máx. (m)		0.5 - 7.0	
Tanque ecualizador: Difusores de burbuja gruesa			
Marca y modelo		Repicky - CB-300	
Número de unidades	$N_{dif ET}$	10	
Densidad de difusores (difusores/m ²)	$\rho_{dif ET}$	0.56 (Rango admisible: 0.50 a 3.00)	
Caudal de aire/difusor (Nm ³ /h)	$Q_{dif ET}$	10.0	4.0
Tanque ecualizador: Sopladores			
Marca y modelo		Repicky - R200	
Número de unidades	$N_{sop ET}$	2	
Número de unidades activas	$N_{sop a ET}$	1	1
Caudal de aire/soplador (Nm ³ /h)	$Q_{sop ET}$	100	40
Potencia/soplador (HP)	$P_{sop ET}$	3.4	0.5
Revoluciones del soplador (rpm)	RPM_{ET}	2610	1123
Estación de bombeo			
Marca y modelo		Grundfos - PLS.D36.L96.A20.V	
Diámetro y profundidad total (m)	$D_{EB1} - H_{tEB1}$	0.9 - 2.4	
Tirante y revancha (m)	$Tir_{EB1} - Rev_{EB1}$	1.5 - 0.9	0.5 - 1.9
Estación de bombeo: Bomba			
Marca y modelo		Grundfos - SLV.65.65.09.2.50B	
Caudal de operación (m ³ /h)	Q_{EB1}	5.00	
N° arranques máximos y operativos (1/h)	$f_{maxEB1} - f_{oEB1}$	30 - 12	

Sistema de coagulación y floculación

Luego de la cámara de equalización, el efluente es dirigido a un sistema de coagulación y floculación, compuesto por un mezclador estático en línea y un tanque de mezcla lenta. En esta instancia, el caudal de entrada se consideró igual a $0.83 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_{inCF}) y se tomaron como válidas las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 5.

Dosis del agente coagulante y floculante

Se propone emplear **sulfato de aluminio** ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y **policloruro de aluminio** (PAC) como agentes coagulante y floculante, respectivamente, a raíz del número de casos relevados en bibliografía donde se los utiliza en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria del cuero y la pintura [14] [35] [98] [117].

Debido a la complejidad de las reacciones involucradas, la dosis óptima de coagulante y floculante, así como las condiciones operativas (incluyendo pH, velocidad de mezcla, etc.), deben establecerse mediante un ensayo de tratabilidad Jar-Test en laboratorio. Como una aproximación, se obtuvo la cantidad requerida de estos agentes a partir de promediar dosis relevadas en bibliografía para tratar efluentes provenientes de curtiembres (ver Tabla 36).

Tabla 36: Dosis de coagulante y floculante para el tratamiento del efluente líquido de la línea de terminación.

Parámetro	Valores relevados en bibliografía				Valor adoptado
	[35]	[41]	[66]	[117]	
Dosis agente coagulante ($\text{g}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}/\text{m}^3$)	100	-	-	160	130
Dosis agente floculante ($\text{g}_{\text{PAC}}/\text{m}^3$)	-	125	330	10	155

Considerando un caudal de ingreso de $0.83 \text{ m}^3/\text{h}$, la dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y PAC resultó en **108 y 129 g/h**, respectivamente. Ambos agentes son inyectados como solución, mediante bombas dosificadoras concebidas para tal fin. En el caso del sulfato de aluminio, se utiliza un accesorio tipo T instalado previo al mezclador estático. Por su parte, el PAC se inyecta directamente en el tanque floculador.

Selección del mezclador estático

Se decidió instalar un mezclador estático **KOFLO 1.25-80-4-12-2** (ver Figura 34), con 12 elementos de PVC en forma de cruz, recomendado por el proveedor para el tratamiento de efluentes líquidos en régimen turbulento. El modelo elegido posee un diámetro de **3.18 cm** ($1 \frac{1}{4}$ " (D_{ME})), una longitud de **63.5 cm** (25" (L_{ME})), y su presión máxima de operación es de 1793 kpa (260 psi) (ver especificaciones en la Figura Anexo 26).

Una vez seleccionado el modelo de mezclador, se verificó que el tiempo de retención hidráulico (TR_{ME}) y el gradiente de velocidad (Gv_{ME}) resultantes se encuentren dentro de los rangos reportados en bibliografía para sistemas de mezcla rápida, de 1-7 s y 300-1500 s^{-1} , respectivamente [24] [56]. Las expresiones utilizadas, se presentan a continuación:

$$[Ec. 53] \quad TR_{ME} = (\pi * D_{ME}^2 * L_{ME}) / (Qin_{CF} * \frac{1 h}{3600 s} * 4)$$

$$[Ec. 54] \quad Gv_{ME} = \sqrt{(4 * Pd_{ME}) / (\pi * D_{ME}^2 * L_{ME} * \mu_{efl})}$$

$$[Ec. 55] \quad Pd_{ME} = Pef_{efl} * hl_{ME} * \frac{1 m}{100 cm} * Qin_{SCF}$$

$$[Ec. 56] \quad hl_{ME} = K_{SM} * \left(\frac{4 * Qin_{CF}}{\pi * D_{ME}^2} \right)^2 * \frac{100 cm}{1 m}$$

Donde:

- TR_{ME} [s]: Tiempo de retención hidráulico del mezclador estático - **2.17 s**.
- Gv_{ME} [s]: Gradiente de velocidad del mezclador estático - **980.5 s^{-1}** .
- Pd_{ME} [W]: Potencia disipada en el efluente - **0.5 W**.
- hl_{ME} [cm]: Pérdida de carga en el mezclador estático - **21.4 cm**.
- D_{ME} [m]: Diámetro del mezclador estático - 0.032 m.
- L_{ME} [m]: Longitud del mezclador estático - 0.635 m.
- Qin_{SCF} [m^3/h]: Caudal ingresando al sistema de coagulación y floculación - 0.83 m^3/h .
- Pef_{efl} [N/m^3]: Peso específico del efluente (se consideró agua a 20°C) - 9789 N/m^3 .
- K_{SM} [s^2/m]: Coeficiente de mezcla, adoptado de bibliografía [56] - 2.5 s^2/m .



Figura 34: Esquema mezclador estático.
Ref.: [44].

Dimensionamiento tanque de floculación

Para el diseño del tanque de floculación, se optó por adaptar un tanque de agua comercial de **525 litros**, **0.88 m** de diámetro (D_{TF}) y **1.05 m** de altura (H_{TF}) (ver Figura Anexo 27).

A partir de la adopción de un tirante de **0.85 m** (Tir_{TF}), se verificó que el tiempo de retención hidráulico (TR_{TF}) se encuentre dentro del rango reportado en bibliografía para cámaras de floculación, de 30-60 minutos [56]. La ecuación utilizada fue la misma que para el TMR del sistema de precipitación de cromo, [Ec. 32], obteniéndose un TR_{TF} de **37.2 min**.

El sistema de agitación seleccionado consiste en un mezclador de turbina de flujo axial, con 6 láminas conectadas al eje e inclinadas a 45°. Se incluyen 4 deflectores longitudinales, equidistantes, montados en las paredes internas de la unidad. Las dimensiones adoptadas para la turbina y los deflectores deben verificar las relaciones geométricas utilizadas en el diseño del TML del sistema de precipitación de cromo (ver Tabla 38) [24].

Las revoluciones de la turbina (RPM_{TF}) se establecieron tal que el gradiente de velocidad (Gv_{TF}) se encuentre dentro del rango bibliográfico para mezclas lentas, de $10-70 \text{ s}^{-1}$ [24] [56]. Así, considerando 40 rpm, un volumen útil de 0.52 m^3 (V_{TF}), un diámetro de turbina de 30.0 cm (D_{turTF}), y un número de potencia del mezclador igual a 1 (K_{turTF}), se calculó Gv_{TF} con las expresiones [Ec. 34] y [Ec. 35]. El resultado obtenido, fue de **37.3 s^{-1}** .

Zonas de transición y de salida

Se concibió la transición entre mezclador estático y floculador mediante un conducto de PVC con expansión. El diámetro adoptado para el primer y segundo tramo fue de **3.18 cm** ($1 \frac{1}{4}$ " ($D_{orSCF\ 1tr}$)) y **3.81 cm** ($1 \frac{1}{2}$ " ($D_{orSCF\ 2tr}$)), respectivamente. Por su parte, se empleó un conducto de PVC de **5.08 cm** (2" ($D_{orSCF\ s}$)) como estructura de salida del floculador.

Las dimensiones de los conductos se adoptaron tal de asegurar un cambio gradual en el gradiente de velocidad del efluente (Gv), a medida que este atraviesa las diferentes etapas del sistema de coagulación y floculación. Dichos gradientes se calcularon de forma análoga al sistema de precipitación de cromo, con las ecuaciones [Ec. 36] y [Ec. 37] (ver Tabla 37).

Tabla 37: Velocidad del efluente (v) y gradiente de velocidad (Gv), a través de la unidad de coagulación y floculación.

	Mezclador estático	Transición 1tr	Transición 2tr	Tanque floculador	Salida
v (m/s)	-	0.29	0.20	-	0.11
Gv (s^{-1})	980.5	176.7	90.5	37.3	31.5

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 38: Unidad de precipitación de cromo para la línea de curtido y recurtido.

Mezclador estático		
Marca y modelo		KOFLO - 1.25-80-4-12-2
Elementos del mezclador		12 elementos de PVC tipo cruz
Longitud del mezclador (cm)	L_{ME}	63.5 (25")
Diámetro del mezclador (cm)	D_{ME}	3.18 ($1 \frac{1}{4}$ "
Dosis de sulfato de aluminio (g/h)		108 (Dosis específica: $130 \text{ g Al}(\text{SO}_4)_3/\text{m}^3$)
Cámara de floculación		

Diámetro del tanque (m)	D_{TF}	0.88
Altura total del tanque (m)	H_{TF}	1.05
Tirante y revancha (m)	$Tir_{TF} - Rev_{TF}$	0.85 - 0.20
Dosis de PAC (g/h)		129 (Dosis específica: 155 g PAC/m ³)
Sistema de mezcla de cámara de floculación		
Descripción del sistema de mezcla		Motorreductor más turbina de mezcla de flujo axial, con 6 láminas inclinadas a 45°
Diámetro de turbina (cm)	D_{turTF}	30.0
Dist. de turbina al fondo del tanque (cm)	H_{turTF}	30.0
Altura de láminas de turbina (cm)	W_{turTF}	6.0
Revoluciones de turbina	RPM_{TF}	40
Estructura anti-vórtice		4 deflectores longitudinales, equidistantes
Longitud de los deflectores (cm)	L_{defTM}	9.0
Zona de transición y de salida		
Estructura de transición		Conducto de PVC con expansión
Diámetro de conducto - 1er tramo (cm)	$D_{orSCF\ tr1}$	3.18 (1 ¼")
Diámetro de conducto - 2do tramo (cm)	$D_{orSCF\ tr2}$	3.81 (1 ½")
Estructura de salida		Conducto de PVC
Diámetro de conducto de salida	$D_{orSCF\ s}$	5.08 (2")

Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)

A continuación del sistema de coagulación y floculación, el efluente es tratado en un equipo de flotación por aire disuelto (DAF) con recirculación de flujo, el cual se haya compuesto por una cámara de flotación, una cámara de partición y un tanque de presurización (ver Figura 35). Se consideró un caudal de entrada a la unidad igual a 0.83 m³/h (Q_{inDAF}) y se tomaron como válidas las características fisicoquímicas presentadas en la Tabla 5.

Balace de caudales

El sistema DAF se diseñó con un factor de recirculación del **80%** (R_{DAF}), encontrándose dentro del rango sugerido de 5-120%, y con una tasa de generación volumétrica de barros del **10%** (B_{DAF}), estimada en función de un relevamiento bibliográfico que tuvo en cuenta el coagulante y floculante empleados [35] [56] [65] [112]. En base a estos factores, se realizó un balance de caudales en la unidad (ver Figura 35), el cual se presenta a continuación:

$$[Ec. 57] \quad QR_{DAF} = Qin_{DAF} * R_{DAF}$$

$$[Ec. 58] \quad Qb_{DAF} = Qin_{DAF} * B_{DAF}$$

$$[Ec. 59] \quad Qf_{DAF} = Qin_{DAF} + QR_{DAF}$$

$$[Ec. 60] \quad Qv_{DAF} = Qin_{DAF} + QR_{DAF} - Qb_{DAF}$$

$$[Ec. 61] \quad Qs_{DAF} = Qin_{DAF} - Qb_{DAF}$$

Donde:

- QR_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente tratado recirculado - **0.67 m^3/h** .
- Qb_{DAF} [m^3/h]: Caudal de generación de barros de la unidad - **0.08 m^3/h** .
- Qf_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente inyectado en la cámara de flotación - **1.50 m^3/h** .
- Qv_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente atravesando los vertederos de salida - **1.42 m^3/h** .
- Qs_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente clarificado, saliendo de la unidad - **0.75 m^3/h** .
- Qin_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - **0.83 m^3/h** .
- R_{DAF} : Factor de recirculación de efluente - **0.80**.
- B_{DAF} : Tasa de generación volumétrica de barros - **0.10**.

Cámara de flotación: Zona de flotación

Se diseñó la cámara de flotación con una geometría circular, en la que el efluente ingresa desde el centro de la unidad y atraviesa radialmente hasta la estructura de salida periférica. El diámetro de la zona de flotación se estableció en **1.00 m** (Df_{DAF}), la profundidad útil en **1.40 m** (Hf_{DAF}) y la revancha en **0.20 m** (Rev_{DAF}). En base a estas dimensiones, se verificó que la carga superficial ($Csup_{DAF}$) y el tiempo de retención hidráulico (TR_{DAF}) se encuentren dentro del rango admisible de 0.014-0.225 $m^3/min.m^2$ y 20-60 min, respectivamente, hallados en bibliografía para flotación DAF [95] [112]. Las expresiones utilizadas, fueron:

$$[\text{Ec. 62}] \quad Csup_{DAF} = Qf_{DAF} * \frac{24 h}{60 min} * 4 / (\pi * Df_{DAF}^2) \quad [\text{Ec. 63}] \quad TR_{DAF} = Hf_{DAF} / Csup_{DAF}$$

Donde:

- $Csup_{DAF}$ [$m^3/min.m^2$]: Carga superficial aplicada sobre la unidad - **0.032 $m^3/min.m^2$** .
- TR_{DAF} [min]: Tiempo de retención hidráulico de la cámara de flotación - **44.0 min**.
- Qf_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente inyectado en la cámara de flotación - **1.50 m^3/h** .
- QR_{DAF} [m^3/h]: Caudal de efluente tratado recirculado - **0.67 m^3/h** .
- Df_{DAF} [m]: Diámetro de la zona de flotación - **1.00 m**.
- Hf_{DAF} [m]: Profundidad útil de la zona de flotación - **1.40 m**.

Cámara de flotación: Zona de entrada

Se resolvió adquirir un difusor comercial para sistemas de flotación por aire disuelto **YOSUN YJ-1.25**, el cual se instalará en el centro de la unidad a una profundidad de **1.40 m** ($Hdif_{DAF}$), para permitir la entrada del efluente a tratar y de la fracción recirculada. El modelo elegido posee un rango de operación de 1.25-5.00 m^3/h , compatible con el caudal inyectado Qf_{DAF} de 1.50 m^3/h . Las características del difusor YOSUN se presentan en la Figura Anexo 28.

Cámara de flotación: Zona de salida

Rodeando la zona de flotación, se decidió instalar una pantalla deflectora para prevenir un arrastre del material flotante. El diámetro se estableció en **1.00 m** ($D_{pd_{DAF}}$) y la profundidad sumergida en **1.40 m** ($H_{pd_{DAF}}$). Se concibió un espacio de 10 cm entre la pantalla y el límite de la unidad, resultando en un diámetro total para la cámara de flotación de **1.20 m** ($D_{cf_{DAF}}$).

Para permitir la salida del efluente tratado, se proyectaron **12** vertederos triangulares tipo Thompson sobre la pared perimetral de la unidad (ver Figura 28). Los mismos se diseñaron con una separación de **30°**, una apertura de **90°** ($\alpha_{vt_{DAF}}$), un ancho de **6.0 cm** ($A_{vt_{DAF}}$), y una altura de **10.0 cm** ($H_{vt_{DAF}}$). El tramo en "V" se obtuvo por trigonometría, resultando en **3.0 cm** de altura ($H_{vtV_{DAF}}$). La distancia entre vertederos ($d_{vt_{DAF}}$), se calculó a continuación:

$$[\text{Ec. 64}] \quad d_{vt_{DAF}} = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * (\pi * D_{cf_{DAF}} - N_{vt_{DAF}} * A_{vt_{DAF}}) / (N_{vt_{DAF}})$$

Donde:

- $d_{vt_{DAF}}$ [cm]: Distancia entre vertederos Thompson - **25.4 cm**.
- $D_{cf_{DAF}}$ [m]: Diámetro total de la cámara de flotación - 1.20 m.
- $N_{vt_{DAF}}$: Número de vertederos Thompson proyectados - 12.
- $A_{vt_{DAF}}$ [m]: Ancho de cada vertedero Thompson - 0.06 m.

Una vez definidas las características de los vertederos, se verificó que el caudal recolectado por metro lineal ($Q_{ad_{DAF}}$) respete el límite admisible reportado en bibliografía de 6.5 m³/h.m [24] [36]. También se comprobó que el tirante sobre el vértice de la estructura ($h_{vt_{DAF}}$) sea menor a 3.0 cm, tal de asegurar una revancha de 7.0 cm. Las expresiones utilizadas fueron las mismas que para el sedimentador de la línea de curtido y recurtido, [Ec. 47] y [Ec. 48]. De esta forma, considerando las dimensiones adoptadas para los vertederos, aplicando un caudal de 1.42 m³/h ($Q_{v_{DAF}}$), y reemplazando el término $Ased_{S1}$ por el perímetro de la cámara de flotación (3.77 m), se obtuvo **$Q_{ad_{DAF}}$: 0.4 m³/h.m - $h_{vt_{DAF}}$: 1.4 cm**.

Luego de atravesar los vertederos por rebalse, el efluente tratado es recolectado en dos canaletas especulares que recorren el perímetro de la cámara y culminan en el mismo punto de salida. Las canaletas se diseñaron con una sección cuadrada de **10 cm** de lado ($L_{cta_{DAF}}$) y una pendiente del **0.5%** ($\alpha_{cta_{DAF}}$). En función de estas dimensiones, se verificó que el tirante máximo en cada una ($h_{om_{DAF}}$) asegure una revancha de al menos 5.0 cm [24]:

$$[\text{Ec. 65}] \quad h_{om_{DAF}} = \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * (Q_{v_{DAF}}/2)^{1/1.5} / [1.38 * L_{cta_{DAF}}]$$

Donde:

- Hom_{DAF} [cm]: Tirante máximo dentro de cada canaleta de recolección - **2.5 cm**.
- Qv_{DAF} [m³/h]: Caudal de efluente atravesando los vertederos de salida - 1.42 m³/h.
- $Lcta_{DAF}$ [m]: Longitud de lado de cada canaleta de recolección - 0.10 m.

Cámara de flotación: Zona de lodos

El fondo de la cámara de flotación se diseñó con geometría de cono truncado, tal que actúe como tolva para la recepción del material sedimentable. La base se dimensionó con un diámetro de **20 cm** ($Dtolva_{DAF}$) y se localizó en el centro de la unidad, a una profundidad de **0.60 m** respecto a la zona de flotación ($Htolva_{DAF}$). Utilizando relaciones trigonométricas, se verificó que la pendiente resultante respete el valor bibliográfico mínimo de 50° [24]:

$$[\text{Ec. 66}] \quad \theta b_{DAF} = \text{atan}([Htolva_{DAF}] / [(Dcf_{DAF} - Dtolva_{DAF}) / 2])$$

Donde:

- θb_{DAF} [°]: Pendiente de la tolva de barro - **50°**.
- $Htolva_{DAF}$ [m]: Profundidad de tolva, en relación con la zona de flotación - 0.60 m.
- $Dtolva_{DAF}$ [m]: Diámetro en la base de la tolva para barro - 0.20 m.
- Dcf_{DAF} [m]: Diámetro total de la cámara de flotación - 1.20 m.

Cámara de flotación: Sistema de extracción de barro

Los lodos sedimentados son dirigidos por gravedad hacia la base de la tolva, mientras que los flotantes son transportados por un barredor superficial, operando a 30 cm/min, hacia una trampa de sólidos [21] [24]. Ambas fracciones ingresan a un sistema de conductos de descarga, donde son impulsadas por una bomba de succión inundada **EDDY Pump HD1K**, a un caudal de total de 0.08 m³/h (Qb_{DAF}) (ver especificaciones en la Figura Anexo 34). Se estableció un diámetro para los conductos de descarga de **5.08 cm** (2") (Db_{DAF}), tal que sea compatible con la sección de salida de la bomba EDDY.

Cámara de partición

Se decidió adaptar un tambor comercial de **0.60 m** de diámetro (Dcp_{DAF}) y **0.90 m** de altura (Hcp_{DAF}) (ver Figura Anexo 30), para usarlo como cámara de partición del DAF y facilitar la recirculación del efluente tratado al tanque presurizador. El tirante del tambor ($Tircp_{DAF}$) se calculó adoptando un tiempo de retención de **5 minutos** ($TRcp_{DAF}$), tal como se muestra:

$$[\text{Ec. 67}] \quad Tircp_{DAF} = TRcp_{DAF} * Qv_{DAF} * \frac{1h}{60 \text{ min}} * \frac{4}{\pi * Dcp_{DAF}^2}$$

Donde:

- $Tircp_{DAF}$ [m]: Tirante de la cámara de partición - **0.42 m**.
- $TRcp_{DAF}$ [min]: Tiempo de retención hidráulico de la cámara de partición - 5.0 min.
- Qv_{DAF} [m³/h]: Caudal de efluente atravesando los vertederos de salida - 1.42 m³/h.
- Dcp_{DAF} [m]: Diámetro de la cámara de partición - 0.60 m.

La recirculación del efluente se realiza mediante una bomba **Grundfos UP 20-45 N 150**, la cual tiene un caudal máximo de 3.5 m³/h y puede entregar una altura de hasta 4.5 m. Las especificaciones y el punto de operación de la bomba se presentan en la Figura Anexo 31.

Tanque de presurización

El efluente recirculado ingresa a un tanque comercial **Hanner 24L**, donde se presuriza aire hasta su solubilización en el fluido. Dicha unidad posee una capacidad de 24 dm³ (Vtp_{DAF}) y su presión máxima operativa es de 6 atm ($Ptpmáx_{DAF}$) (ver Figura Anexo 32).

Utilizando las siguientes expresiones, se verificó que el tiempo de retención ($TRtp_{DAF}$) y carga hidráulica ($CHtp_{DAF}$) del tanque Hanner se encuentren dentro del rango reportado en bibliografía de 1-3 minutos y 117.3 -234.7 m³/m².d, respectivamente [95] [112]:

$$[\text{Ec. 68}] \quad TRtp_{CF} = \left(Vtp_{DAF} * \frac{1 m^3}{1000 dm^3} \right) / \left(4 * QR_{DAF} * \frac{1 h}{60 min} \right) \quad [\text{Ec. 69}] \quad CHtp_{DAF} = \frac{1440 min}{1 d} * \frac{Htp_{DAF}}{TRtp_{DAF}}$$

Donde:

- $TRtp_{DAF}$ [min]: Tiempo de retención hidráulico del tanque presurizador - **2.2 min**.
- $CHtp_{DAF}$ [m³/d.m²]: Carga superficial aplicada sobre el tanque - **200.0 m³/d.m²**.
- Vtp_{DAF} [dm³]: Volumen útil del tanque presurizador - 24 dm³.
- Htp_{DAF} [m]: Profundidad del tanque presurizador (ver Figura Anexo 32) - 0.3 m.
- QR_{DAF} [m³/h]: Caudal de efluente tratado recirculado - 0.67 m³/h.

Una vez seleccionado el tanque presurizador, se definieron sus condiciones de operación. En este aspecto, la relación entre el aire aplicado y la masa de sólidos removida (A/S_{DAF}) representa un parámetro de operación crítico, que define la eficiencia del proceso DAF y que debe ser determinado mediante un ensayo en laboratorio. Como una aproximación, se adoptó el valor de A/S_{DAF} a partir de promediar diferentes rangos relevados en bibliografía:

Tabla 39: Relación entre aire aplicado y SST removidos (A/S), adoptada para el diseño del sistema de flotación DAF.

Parámetro	Valores relevados en bibliografía			Valor adoptado
	[56]	[95]	[112]	
A/S_{DAF} (mg _{aire} /mg _{SST})	0.005-0.060	0.005-0.090	0.010-0.100	0.045

En función del valor A/S_{DAF} adoptado, se calculó la presión manométrica de trabajo en el tanque ($P_{tp_{DAF}}$) y el requerimiento de aire ($A_{tp_{DAF}}$) resultantes, verificando que el primero respete el rango bibliográfico admisible de 1.0-4.8 atm [21] [56] [65] [112].

$$[\text{Ec. 70}] \quad P_{tp_{DAF}} + 1\text{atm} = \left(\frac{A/S_{DAF} * SST_{f_{DAF}}}{R_{DAF} * 1.3 * sa_{efl}} + 1 \right) * \frac{1}{fa_{DAF}}$$

$$[\text{Ec. 71}] \quad SST_{f_{DAF}} = (Q_{in_{DAF}} * SST_{in_{DAF}} + Q_{R_{DAF}} * SST_{s_{DAF}}) / (Q_{in_{DAF}} + Q_{R_{DAF}})$$

$$[\text{Ec. 72}] \quad A_{tp_{DAF}} = A/S_{DAF} * (Q_{f_{DAF}} * SST_{f_{DAF}} - Q_{v_{DAF}} * SST_{s_{DAF}})$$

Donde:

- $P_{tp_{DAF}}$ [atm]: Presión manométrica de trabajo en el tanque presurizador - **3.4 atm**.
- $SST_{f_{DAF}}$ [g/m^3]: SST en el efluente entrando a la cámara de flotación - **516 g/m^3** .
- $A_{tp_{DAF}}$ [g/h]: Requerimiento de aire en el tanque presurizador - **24.5 g/h** .
- A/S_{DAF} [mg/mg]: Relación entre aire aplicado y SST removidos - 0.045 mg/mg .
- R_{DAF} : Factor de recirculación de efluente - 0.80.
- sa_{efl} [ml/l]: Solubilidad del aire en agua, a 1 atm y 20°C [56] - 18.7 ml/l .
- fa_{DAF} : Fracción de aire disuelto a presión de trabajo, adoptado de ref. [112] - 0.5.
- $Q_{in_{DAF}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - 0.83 m^3/h .
- $Q_{R_{DAF}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente tratado recirculado - 0.67 m^3/h .
- $Q_{f_{DAF}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente inyectado en la zona de flotación - 1.50 m^3/h .
- $Q_{v_{DAF}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente atravesando los vertederos de salida - 1.42 m^3/h .
- $SST_{in_{DAF}}$ [g/m^3]: SST en el efluente entrando a la unidad (ver Tabla 40) - 800 g/m^3 .
- $SST_{s_{DAF}}$ [g/m^3]: SST en el efluente saliendo de la unidad (ver Tabla 40) - 160 g/m^3 .

La inyección del aire a la cámara de presurización se realizará mediante un compresor **Branx BRXC-2525**, el cual tiene una presión máxima de 7.8 atm (115 psi) y puede entregar un caudal de 160 l/min. Las características del compresor se ven en la Figura Anexo 29.

Eficiencias de remoción

La eficiencia del sistema DAF para la remoción de diferentes contaminantes presentes en los efluentes líquidos debe determinarse mediante ensayos en laboratorios y pruebas en plantas piloto, considerando la relación A/S_{DAF} utilizada, así como también un tratamiento previo de coagulación y floculación realizado con $Al_2(SO_4)_3$ y PAC. Como una aproximación, se obtuvo la eficiencia global de la unidad para la remoción de DBO, DQO, SST, grasas y detergentes, mediante una búsqueda bibliográfica (ver Tabla 40) [14] [21] [35] [70] [81] [95].

Tabla 40: Caracterización del efluente ingresando y egresando al sistema de flotación por aire disuelto (DAF).

Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
DQO (g/m ³)	3000	1200	60 %
DBO (g/m ³)	1000	550	45 %
SST (g _{SST} /m ³)	800	160	80 %
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	0	0	-
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	75	75	-
NTK (g _N /m ³)	110	110	-
Fósforo total (g _P /m ³)	5	5	-
Sulfato (g _{SO4} /m ³)	0	0	-
pH (upH)	6	6	-
Cl ⁻ (g _{Cl} /m ³)	300	300	-
Grasas SSEE (g/m ³)	300	30	90 %
Detergentes SAAM (g/m ³)	60	18	70 %

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 41: Sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para la línea de terminación.

Cámara de flotación: Zona de entrada		
Estructura de entrada		Difusor comercial
Marca y modelo de difusor		YOSUN - YJ-1.25
Caudal de operación (m ³ /h)	Q _{fDAF}	1.50
Cámara de flotación: Zona de flotación		
Diámetro total de cámara de flotación (m)	D _{cfDAF}	1.20
Diámetro útil de zona de flotación (m)	D _{fDAF}	1.00
Altura útil y revancha de zona de flotación (m)	H _{fDAF} - Rev _{vDAF}	1.40 - 0.20
Cámara de flotación: Zona de salida		
Estructura de retención del material flotante		Pantalla deflectora
Diámetro de pantalla deflectora (m)	D _{pdDAF}	1.00
Profundidad sumergida de pantalla deflectora (m)	H _{pdDAF}	1.40
Estructura de salida		12 vert. Thompson equiespaciados
Ángulo de apertura (°)	α _{vtDAF}	90
Alto de vertedero (total - tramo en "V") (cm)	H _{vtDAF} - H _{vtvDAF}	10.0 - 3.0
Revancha en vertederos (cm)	Rev _{vtDAF}	8.6
Ancho y distancia entre vertederos (cm)	Av _{tDAF} - dv _{tDAF}	6.0 - 25.4
Estructura de recolección		2 canaletas de sección cuadrada
Longitud de lado y revancha de canaleta (cm)	L _{ctDAF} - Rev _{ctDAF}	10.0 - 7.5
Cámara de flotación: Zona de lodos		
Estructura de la zona de lodos		Tolva con forma de cono truncado

Pendiente de la tolva (°)	θ_{bDAF}	50
Diámetro de la base de la tolva (cm)	$D_{tolvaDAF}$	20
Profundidad de tolva, respecto a zona de flot. (m)	$H_{tolvaDAF}$	0.60
Cámara de flotación: Sistema de recolección de barro		
Sistema de recolección de lodos flotantes		Barredor superficial
Velocidad de funcionamiento de barredor (cm/min)		30
Marca y modelo de bomba de succión de barro		EDDY Pump - HD1K
Diámetro de cañerías de descarga (cm)	D_{bDAF}	5.08 (2")
Caudal de extracción de barro (m ³ /h)	Q_{bDAF}	0.08
Cámara de partición		
Diámetro cámara de partición (m)	D_{cpDAF}	0.60
Profundidad y tirante de cámara de partición (m)	$H_{cpDAF} - T_{ircpDAF}$	0.90 - 0.42
Marca y modelo de bomba de recirculación		Grundfos - UP 20-45 N 150
Caudal de recirculación (m ³ /h)	Q_{RDAF}	0.67
Tanque de presurización		
Marca y modelo de tanque presurizador		Hanner - 24L
Presión máxima y de trabajo en el tanque (atm)	$P_{tpmáxDAF} - P_{tpDAF}$	6 - 3.4 (manométricas)
Requerimiento de aire en el tanque (g/h)	A_{tpDAF}	24.5
Marca y modelo de compresor		Branx - BRXC-2525

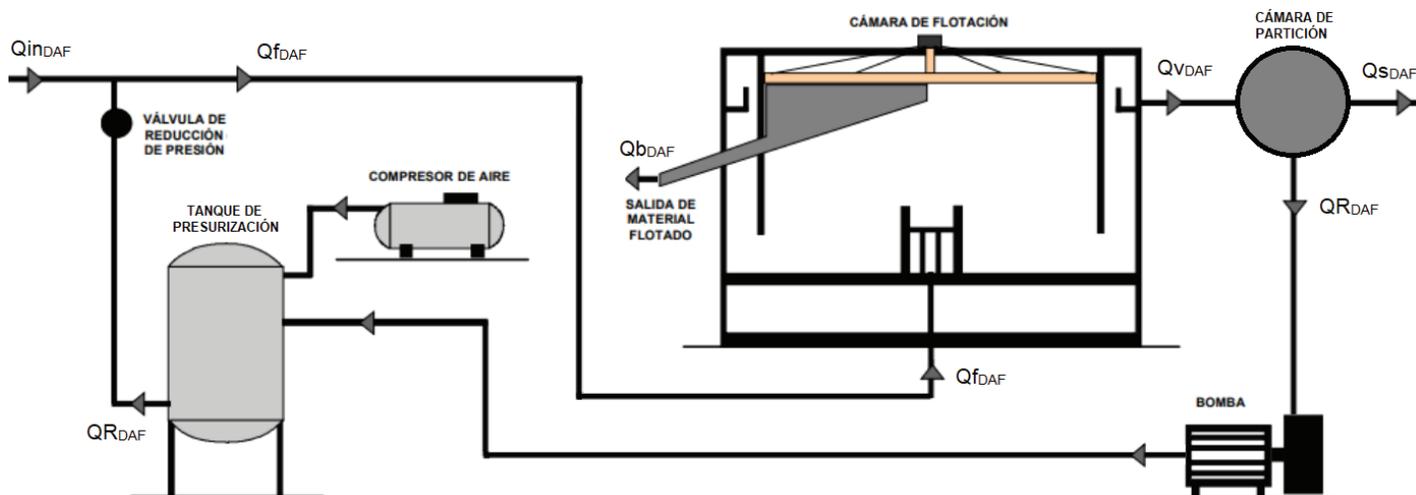


Figura 35: Esquema de sistema de flotación por aire disuelto (DAF). Ref.: [95].

Línea de tratamiento secundario

Cámara de partición

Los clarificados de las líneas de curtido y de terminación confluyen en una cámara de partición (CP), donde también ingresan los efluentes cloacales generados por la curtiembre y el retorno del sistema de tratamiento de lodos mixtos (ver Figura 16).

Balance de caudales

La cámara de partición se diseñó para poder homogeneizar la composición del efluente ingresando en la unidad, asegurando a su vez un caudal de salida constante. Tal como se expuso en la Figura 16, se contemplaron las siguientes corrientes de ingreso a la unidad:

- Efluentes provenientes de la línea de tratamiento de curtido y recurtido, cuyo caudal de $6.25 \text{ m}^3/\text{h}$ se vincula al clarificado proveniente del sedimentador primario ($Q_{S_{S1}}$).
- Efluentes provenientes de la línea de terminación, cuyo caudal de $0.75 \text{ m}^3/\text{h}$ se vincula al clarificado proveniente del sistema de flotación por aire disuelto ($Q_{S_{DAF}}$).
- La corriente cloacal generada por *Encuerado*, cuya distribución horaria de caudales de generación se extrajo de la Tabla 10.
- El retorno del sistema de tratamiento de barros sin cromo, cuyo caudal se obtuvo a partir de una iteración en la que se consideraron las estaciones de verano (V) e invierno (I) como dos instancias diferentes. Para la estación cálida se calculó un caudal de retorno de $1.04 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q_{ret_{CP-V}}$), y para la fría de $0.84 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q_{ret_{CP-I}}$).

En función de los ingresos identificados, se obtuvo el caudal de salida para la cámara de partición en verano ($Q_{S_{CP-V}}$) y en invierno ($Q_{S_{CP-I}}$). La expresión utilizada, fue la siguiente:

$$[\text{Ec. 73}] \quad Q_{S_{CP}} = Q_{clo \ h} * \frac{9 \text{ horas hábiles}}{24 \text{ horas totales}} * \frac{5 \text{ días hábiles}}{7 \text{ días totales}} + Q_{S_{S1}} + Q_{S_{DAF}} + Q_{ret_{CP}}$$

Donde:

- $Q_{S_{CP}}$ [m^3/h]: Caudal de salida de la cámara de partición, utilizado como caudal de diseño para las unidades de tratamiento subsiguientes - **V: $8.10 \text{ m}^3/\text{h}$ - I: $7.91 \text{ m}^3/\text{h}$.**
- $Q_{clo \ h}$ [m^3/h]: Caudal de generación de efluente cloacal horario medio - $0.24 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $Q_{S_{S1}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente saliendo del sedimentador primario - $6.25 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $Q_{S_{DAF}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente saliendo del sistema DAF - $0.75 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $Q_{ret_{CP}}$ [m^3/h]: Caudal de retorno, vinculado al sistema de tratamiento de barros sin contenido de cromo - V: $1.04 \text{ m}^3/\text{h}$ - I: $0.84 \text{ m}^3/\text{h}$.

Volumen de la cámara de partición

De forma análoga a los ecualizadores EC y ET, las dimensiones de la cámara de partición se establecieron en función del volumen acumulado de efluente ingresando y egresando de la unidad, para un período de tiempo de una semana de verano. Así, utilizando la ecuación [Ec. 25], y conociendo la diferencia máxima positiva ($\Delta V1: 0.5 \text{ m}^3$) y negativa ($\Delta V2: -3.5 \text{ m}^3$) entre las corrientes de ingreso y egreso al CP, se calculó un volumen mínimo de 4.9 m^3

para la unidad ($V_{CP\ min}$). En consecuencia, se decidió instalar un tanque comercial de **8.0 m³** (V_{CP}), con **2.3 m** de diámetro de (D_{CP}) y **2.0 m** de altura total (Ht_{CP}) (ver Figura Anexo 33).

Una vez establecidas las dimensiones de la cámara, se repitió el cálculo de $V_{CP\ min}$ con una semana de invierno. El resultado obtenido resultó compatible con el volumen V_{CP} .

Bomba de evacuación del efluente

Se decidió instalar dos bombas sumergibles, que operen alternadamente para aumentar su vida útil. Las mismas deben asegurar un caudal de 8.10 m³/h en verano (Q_{SCP-V}) y 7.91 m³/h en invierno (Q_{SCP-I}), a la vez que deben entregar una altura suficiente para superar el tirante máximo de CP (1.6 m) y permitir que las siguientes unidades de tratamiento operen por gravedad (4.2 m, ver Anexo IX). El equipo seleccionado fue una bomba **Grundfos SEG.40.09.2.1.502** (ver curva característica y punto de operación en la Figura Anexo 16).

Para garantizar su correcto funcionamiento, la bomba elegida requiere un tirante mínimo de 0.5 m. Esta condición de sumergencia pudo verificarse con un volumen inicial de 3.0 m³ en CP, tal como se evidencia en la Figura 36. Dicha afirmación resulta válida para condiciones de verano e invierno, en la medida que se ajuste el caudal de salida a Q_{SCP-V} y Q_{SCP-I} .

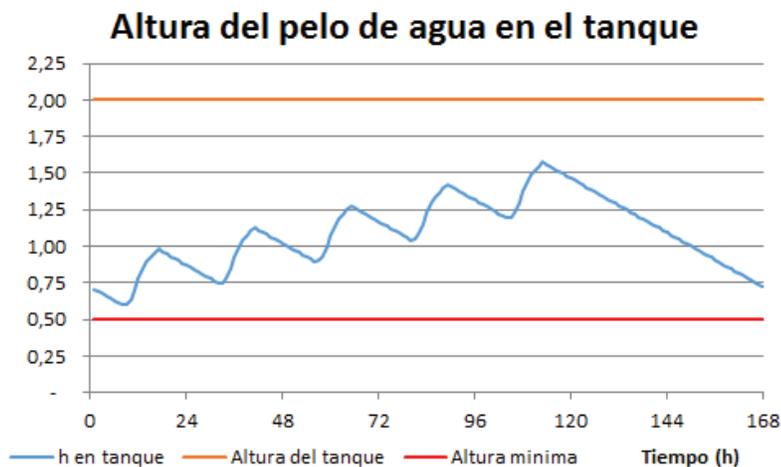


Figura 36: Azul: Variación temporal de la altura del efluente en la cámara de partición, a lo largo de una semana, considerando un volumen de llenado inicial de 3.0 m³ (la curva es válida para condiciones tanto de verano como de invierno). Naranja: Altura del tanque (4.0 m). Rojo: Altura mínima del pelo de agua (0.5 m). Tiempo de inicio: lunes a las 0:00 h.

Sistema de mezcla

Se plantea la instalación de un **agitador mecánico** con motorreductor, capaz de garantizar la mezcla del efluente dentro de la cámara de partición. Como requisito, se debe asegurar una potencia entregada de 4-8 W/m³ [56]. De esta forma, usando un valor medio de **6 W/m³** ($ReqP_{CP}$) y adoptando una eficiencia mecánica del **60%** (ηm_{CP}), se obtuvo la potencia requerida del mezclador (Pm_{CP}) para condiciones de tirante máximo y mínimo en la unidad:

$$[Ec. 74] \quad Pm_{CP} = ReqP_{CP} * (\pi * D_{CP}^2 * Tir_{CP}) / (4 * \eta m_{CP})$$

Donde:

- $P_{m_{CP}}$ [W]: Potencia mecánica del mezclador - $P_{m_{CP} \text{ Max}}: 65.4 \text{ W}$ - $P_{m_{CP} \text{ Min}}: 24.9 \text{ W}$.
- $ReqP_{CP}$ [W/m³]: Requerimiento de potencia entregada - 6.0 W/m³.
- D_{CP} [m]: Diámetro de la cámara de partición - 2.3 m.
- Tir_{CP} [m]: Tirante dentro de la cámara de partición - Max: 1.6 m - Min: 0.6 m.
- $\eta_{m_{CP}}$: Eficiencia mecánica estimada para el mezclador - 0.6.

Sistema de desbaste: Canasto

La cámara de partición cuenta con un **canasto** de acero inoxidable, para retener objetos de mayor tamaño que pudieran ser arrastrados en la corriente de cloacales. Se plantea instalar el mismo dispositivo que aquel diseñado para la línea de terminación (ver Tabla 43).

Sistema de regulación de pH

Con el fin de asegurar condiciones adecuadas para el crecimiento de los microorganismos presentes en las unidades de tratamiento posteriores, se incluyó un sistema de dosificación de **ácido sulfúrico** (H₂SO₄) en solución. El agente acidificante es inyectado directamente en la cámara de partición, mediante una bomba dosificadora, garantizando un pH neutro en la corriente de salida. La homogeneización se logra gracias al agitador mecánico instalado.

Calidad del efluente egresando de la cámara de partición

Las características fisicoquímicas del efluente egresando de la cámara de partición se obtuvieron a partir de un balance de masas, el cual consideró los aportes provenientes del clarificado de la línea de curtido (ver Tabla 31), el clarificado de la línea de terminación (ver Tabla 40), y los efluentes cloacales generados por la curtiembre (ver Tabla 8). A modo de simplificación, se despreció el aporte de carga contaminante asociado al retorno del sistema de tratamiento de lodos mixtos (ver Nota). Los resultados obtenidos, fueron los siguientes:

Tabla 42: Caracterización del efluente ingresando y egresando a la cámara de partición.

Parámetro	Línea de curtido	Línea de terminación	Efluentes cloacales	Salida de la unidad
DQO (g/m ³)	2295	1200	750	2165
DBO (g/m ³)	1301	550	350	1212
SST (g _{SST} /m ³)	294	160	360	280
Cromo total (g _{Cr} /m ³)	1.05	0	0	0.93
NH ₃ -N (g _{NH3} /m ³)	120	75	35	114
NTK (g _N /m ³)	200	110	60	189

Parámetro	Línea de curtido	Línea de terminación	Efluentes cloacales	Salida de la unidad
Fósforo total (g_P/m^3)	5	5	10	5
Sulfato (g_{SO_4}/m^3)	600	0	30	531
pH (upH)	9.5	6.0	7.5	7.0 (*)
Cl- (g_{Cl}/m^3)	3000	300	50	2687
Grasas SSEE (g/m^3)	54	30	70	52
Detergentes SAAM (g/m^3)	18	18	60	18

(*) El pH es llevado hasta la neutralidad mediante la inyección de agente acidificante.

Nota: En una instancia posterior, una vez instalada la planta, se deberá caracterizar el sobrenadante del sistema de tratamiento de barros y ajustar los parámetros operativos de la línea de tratamiento biológico (por ejemplo, las tasas de recirculación interna de los reactores y del sedimentador secundario) para alcanzar los valores de vuelco de diseño.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 43: Cámara de partición para la línea de tratamiento secundario.

		Tirante máximo	Tirante mínimo
Cámara de partición			
Diámetro del tanque (m)	D_{CP}	2.3	
Altura total del tanque (m)	Ht_{CP}	2.0	
Tirante y revancha (m)	$Tir_{CP} - Rev_{CP}$	1.6 - 0.4	0.6 - 1.4
Bomba			
Marca y modelo		Grundfos - SEG.40.09.2.1.502	
Tipo de bomba		Trituradora - Sumergible	
Caudal de operación (m^3/h)	Q_{SCP}	Verano: 8.10 - Invierno: 7.91	
Inmersión mín. y máx. (m)		0.5 - 7.0	
Sistema de mezcla			
Descripción del sistema de mezcla		Agitador mecánico con motorreductor	
Potencia requerida (W)	$P_{m_{CP}}$	65.4	24.9
Sistema de desbaste			
Descripción del sistema de desbaste		Canasto para la corriente de cloacales	
Longitud, ancho y profundidad (m)	$L_{cto} - B_{cto} - H_{cto}$	0.30 - 0.80 - 0.30	
Diámetro y separación de barras (mm)	$D_{cto} - b_{cto}$	5 - 10	
Sistema de regulación de pH			
Descripción del sistema de regulación		Inyección de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en solución, mediante bomba dosificadora	

Reactor de lodos activados con cámara preanóxica

Las aguas residuales que egresan de la cámara de partición prosiguen a una instancia de tratamiento biológico, conformada por una cámara anóxica (CA), un reactor de lodos activados (LA), y un sedimentador secundario (ver Figura 38). El sistema contempla una recirculación interna del efluente entre la cámara anóxica y el reactor (QIR_{T2}), así como también un retorno de los barros del sedimentador secundario ($QRAS_{T2}$).

El siguiente apartado detalla el diseño del reactor LA y la cámara anóxica. Se consideró un caudal de entrada para verano de $8.10 \text{ m}^3/\text{h}$ (Qin_{T2-v}) y otro para invierno de $7.91 \text{ m}^3/\text{h}$ (Qin_{T2-i}). Las características fisicoquímicas del efluente se extrajeron de la Tabla 42.

Balace de caudales

El sistema de tratamiento biológico se diseñó con un factor de recirculación interna de **3.00** (RI_{T2}) y con una tasa de retorno de barros de **1.00** (RB_{T2}), encontrándose ambos dentro del rango sugerido de 2.00-4.00 y 0.75-1.50, respectivamente [21] [56]. Usando estos valores, se calculó el caudal QIR_{T2} y $QRAS_{T2}$ (ver Figura 38), tal como se presenta a continuación:

$$[\text{Ec. 75}] \quad QIR_{T2} = Qin_{T2} * RI_{T2}$$

$$[\text{Ec. 76}] \quad QRAS_{T2} = Qin_{T2} * RB_{T2}$$

Donde:

- QIR_{T2} [m^3/h]: Caudal de recirculación interna - **V: 24.31 m^3/h - I: 23.72 m^3/h .**
- $QRAS_{T2}$ [m^3/h]: Caudal de retorno de barros - **V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .**
- Qin_{T2} [m^3/h]: Caudal de efluente de ingreso - V: $8.10 \text{ m}^3/\text{h}$ - I: $7.91 \text{ m}^3/\text{h}$.
- RI_{T2} : Factor de recirculación interna, entre el reactor LA y la cámara anóxica - 3.00.
- RB_{T2} : Tasa de retorno de barros, provenientes del sedimentador secundario – 1.00.

Condición de borde: Temperatura del efluente

La temperatura influye significativamente en la actividad metabólica de los microorganismos presentes en la línea de tratamiento secundario, afectando la cinética de las reacciones biológicas que se dan a lugar en las unidades del sistema [21] [31] [56]. Por este motivo, las constantes cinéticas utilizadas en el diseño del reactor de lodos activados y la cámara anóxica, deben corregirse en función de la temperatura del efluente:

$$[\text{Ec. 77}] \quad K_T = K_{20^\circ\text{C}} \cdot \theta^{T_{efl}-20^\circ\text{C}}$$

Donde:

- K_T : Constante de velocidad de reacción biológica, a la temperatura T.

- $K_{20^{\circ}\text{C}}$: Constante de velocidad de reacción biológica, a 20°C .
- θ : Coeficiente de temperatura para la reacción biológica.
- $T_{\text{eff}} [^{\circ}\text{C}]$: Temperatura del efluente - Verano: 23°C - Invierno: 19°C .

A partir de un relevamiento bibliográfico, se obtuvieron las constantes cinéticas (K_T) y los coeficientes de temperatura (θ) para las principales reacciones biológicas que ocurren en la línea de tratamiento secundario (ver Tabla 47). La temperatura del efluente considerada fue de 19°C en invierno ($T_{\text{eff-I}}$) y 23°C en verano ($T_{\text{eff-V}}$), estimadas en base a la información recopilada durante las visitas hechas a dos curtiembres de Valentín Alsina (ver Anexo I).

Tabla 44: Constantes cinéticas (K_T) y coeficientes de temperatura (θ) usadas en el diseño del sistema de tratamiento secundario.

		$K_{20^{\circ}\text{C}}$	θ	$K_{19^{\circ}\text{C}} (\text{I})$	$K_{23^{\circ}\text{C}} (\text{V})$	Ref.
Constante de oxidación biológica, de 1er orden, para efluentes provenientes de una curtiembre con cromo (d^{-1})	$K_{r\text{LA}}$	4.00	1.05	3.81	4.63	[21]
Constante de decaimiento endógeno (d^{-1})	$K_{d\text{LA}}$	0.060	1.04	0.058	0.067	[21]
Rendimiento de la oxidación biológica ($g_{\text{SSV}}/g_{\text{bDQO}}$)	Y_{XSLA}	0.45	1.00	0.45	0.45	[21] [56]
Rendimiento de la oxidación biológica, en términos del nitrógeno consumido ($g_{\text{SSV}}/g_{\text{N}}$)	Y_{XnLA}	0.15	1.00	0.15	0.15	[21] [56]
Tasa específica de nitrificación ($g_{\text{NH}_3}/g_{\text{SSVn.d}}$)	q_{nLA}	1.30	1.09	1.19	1.68	[21] [56]
Tasa específica de desnitrificación ($g_{\text{NO}_3}/g_{\text{SSVdn.d}}$)	q_{dnLA}	0.14	1.03	0.14	0.15	[21] [56]

Condición de borde: Sustrato considerado

Se utilizó la fracción biodegradable de DQO dentro del efluente (bDQO) como parámetro de diseño para el reactor de LA. De acuerdo con la bibliografía consultada, este parámetro puede utilizarse para caracterizar el contenido de carbono plausible de ser metabolizado por los microorganismos presentes en un reactor de lodos activados, al mismo tiempo que permite un enfoque más conservador en comparación con un diseño basado en la DBO [31] [56]. La ecuación empleada para estimar el valor de bDQO , se presenta a continuación:

$$[\text{Ec. 78}] \quad \text{bDQO}_{T_2} = R_{\text{bD}} * \text{DBO}_{T_2}$$

Donde:

- $\text{bDQO}_{T_2} [g_{\text{bDQO}}/\text{m}^3]$: Fracción biodegradable de DQO en el efluente del sistema de tratamiento biológico - **Entrada: $1939 g_{\text{bDQO}}/\text{m}^3$ - Salida: $192 g_{\text{bDQO}}/\text{m}^3$.**
- $R_{\text{bD}} [g_{\text{bDQO}}/g_{\text{DBO}}]$: Relación bDQO y DBO, tomado de ref. [31] [56] - $1.60 g_{\text{bDQO}}/g_{\text{DBO}}$.
- $\text{DBO}_{T_2} [g_{\text{DBO}}/\text{m}^3]$: Carga de DBO en el efluente del sistema de tratamiento biológico (ver Tabla 47) - **Entrada: $1212 g_{\text{DBO}}/\text{m}^3$ - Salida: $120 g_{\text{DBO}}/\text{m}^3$.**

Condición de borde: Concentración de microorganismos

El sistema de tratamiento se diseñó considerando una misma concentración de SST y de microorganismos activos ($X_{v_{LA}}$) en el reactor de lodos activados y la cámara anóxica, tal como indica la metodología empleada como referencia [21] [31] [56]. La cantidad adoptada fue de **3500 g_{SST}/m³** en verano (SST_{LA-V}) y de **4300 g_{SST}/m³** en invierno (SST_{LA-I}), ambas dentro del rango 3000-5000 g_{SST}/m³ reportado en bibliografía para reactores LA [21] [56]. Por su parte, la concentración de microorganismos activos se estimó como la fracción de sólidos suspendidos volátiles (SSV_{LA}), siguiendo la expresión a continuación:

$$[\text{Ec. 79}] \quad X_{v_{LA}} = R_{VT} * SST_{LA}$$

Donde:

- $X_{v_{LA}}$ [g_{SSV}/m³]: Carga de microorganismos activos en reactor LA y cámara anóxica (CA) - **V: 2800 g_{SSV}/m³ - I: 3440 g_{SSV}/m³.**
- R_{VT} [g_{SSV}/g_{SST}]: Relación entre SSV y SST, adoptado de ref. [21] [56] - 0.80 g_{SSV}/g_{SST}.
- SST_{LA} [g_{SST}/m³]: Carga de SST en reactor LA y CA - V: 3500 g_{SST}/m³ - I: 4300 g_{SST}/m³.

Debido al espesamiento que ocurre en el fondo del sedimentador secundario, el retorno de los barros cuenta con un aumento en la concentración de microorganismos activos ($X_{p_{T2}}$), cuya magnitud depende de las características del barro biológico generado. Teniendo esto en cuenta, se estimó el valor de $X_{p_{T2}}$ con la expresión a continuación. El resultado obtenido verifica el rango recomendado por bibliografía de 4000-12000 mg SSV/l [8] [56].

$$[\text{Ec. 80}] \quad X_{p_{T2}} = X_{v_{LA}} + X_{v_{LA}}/RB_{T2}$$

Donde:

- $X_{p_{T2}}$ [g_{SSV}/m³]: Concentración de microorganismos activos en la corriente de retorno, proveniente del sedimentador secundario - **V: 5600 g_{SSV}/m³ - I: 6880 g_{SSV}/m³.**
- $X_{v_{LA}}$ [g_{SSV}/m³]: Carga de microorganismos activos en reactor LA y cámara anóxica - V: 2800 g_{SSV}/m³ - I: 3440 g_{SSV}/m³.
- RB_{T2} : Tasa de retorno de barros, provenientes del sedimentador secundario - 1.00.

Reactor LA: Cinética de oxidación biológica de microorganismos aerobios

La cinética de oxidación biológica refleja la velocidad con la que los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica presente en el efluente, siendo entonces un factor determinante a la hora de dimensionar un sistema de tratamiento biológico. Mediante un

ensayo en laboratorio, es posible evaluar qué modelo cinético se ajusta mejor al caso de estudio, y también obtener experimentalmente la constante de velocidad asociada [21].

Como acercamiento, el dimensionamiento del tratamiento secundario se realizó aplicando diferentes modelos publicados en bibliografía, usando finalmente el caso más conservador [21] [31] [56]. Se decidió entonces seguir el modelo propuesto por Eckenfelder, por lo que se adoptó una cinética de oxidación de primer orden para los microorganismos presentes en la unidad de lodos activados. Las expresiones que define el modelo, en condiciones de verano (V) e invierno (I), se presentan a continuación [21]:

$$[\text{Ec. 81}] \quad \frac{dS}{dt}_{LA} = Kr_{LA} * Xv_{LA} * \left(\frac{S_{LA}}{S_{0LA}}\right) \quad [\text{Ec. 82}] \quad \frac{dX}{dt}_{LA} = Yx_{S_{LA}} * \frac{dS}{dt}_{LA} - Kd_{LA} * Xv_{LA}$$

Donde:

- dS/dt_{LA} [$g_{bDQO}/m^3.d$]: Velocidad de consumo de sustrato (bDQO) dentro del reactor de lodos activados - **V: 1284 $g_{bDQO}/m^3.d$ - I: 1297 $g_{bDQO}/m^3.d$.**
- dX/dt_{LA} [$g_{SSV}/m^3.d$]: Velocidad de síntesis de nueva biomasa de los microorganismos en el reactor LA, a partir del sustrato consumido - **V: 389 $g_{SSV}/m^3.d$ - I: 385 $g_{SSV}/m^3.d$.**
- Kr_{LA} [d^{-1}]: Cte. de oxidación biológica (ver Tabla 44) - V: 4.63 d^{-1} - I: 3.81 d^{-1} .
- Kd_{LA} [d^{-1}]: Cte. de decaimiento endógeno (ver Tabla 44) - V: 0.067 d^{-1} - I: 0.058 d^{-1} .
- $Yx_{S_{LA}}$ [g_{SSV}/g_{bDQO}]: Rendimiento de la oxidación (ver Tabla 44) - 0.45 g_{SSV}/g_{bDQO} .
- Xv_{LA} [g_{SSV}/m^3]: Microorganismos activos en LA - V: 2800 g_{SSV}/m^3 - I: 3440 g_{SSV}/m^3 .
- S_{LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato en el efluente tratado - 192 g_{bDQO}/m^3 .
- S_{0LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - 1939 g_{bDQO}/m^3 .

Reactor LA: Volumen de la unidad

Para calcular las dimensiones del reactor de lodos activados, se consideró despreciable el consumo de bDQO en la cámara anóxica frente a la contribución de la etapa aerobia. De esta forma, el sistema de tratamiento secundario pudo simplificarse tal como se presenta en la Figura 37. Luego, se obtuvo el volumen del reactor LA a partir de un balance de masas:

$$[\text{Ec. 83}] \quad Vmin_{LA} = Qin_{T2} * \frac{24 h}{1 d} * (S_{0LA} - S_{LA}) / \frac{dS}{dt}_{LA}$$

Donde:

- $Vmin_{LA}$ [m^3]: Volumen útil mínimo del reactor LA - **V: 264.8 m^3 - I: 255.6 m^3 .**
- Qin_{T2} [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- S_{0LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - 1939 g_{bDQO}/m^3 .

- S_{LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato en el efluente tratado - $192 g_{bDQO}/m^3$.
- dS/dt_{LA} [$g_{bDQO}/m^3.d$]: Velocidad de consumo de sustrato, dentro del reactor de lodos activados - V : $1284 g_{bDQO}/m^3.d$ - I : $1297 g_{bDQO}/m^3.d$.

En función del resultado obtenido, se adoptó un volumen útil para el reactor de **285.0 m³** (V_{LA}) y una revancha de **0.5 m** (Rev_{LA}). Tomando una geometría rectangular, la longitud se estableció en **9.5 m** (L_{LA}), el ancho en **6.0 m** (A_{LA}) y la profundidad útil en **5.0 m** (H_{LA}). El tiempo de retención hidráulico se calculó como el cociente entre V_{LA} y Q_{inT2} , dando como resultado **1.47 d** en verano (TR_{LA-v}) y **1.50 d** en invierno (TR_{LA-i}).

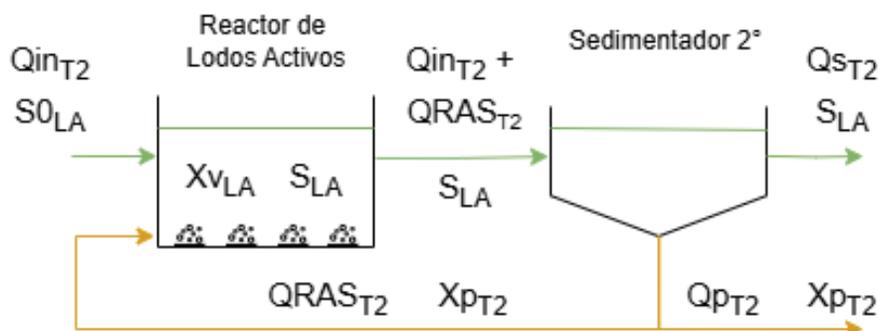


Figura 37: Balance de masas simplificado para el sistema de tratamiento secundario, considerando sustrato (S_{0LA} - S_{LA}) y microorganismos activos (X_{vLA} - X_{pT2}). Se desprecia el aporte de sustrato en el retorno de barros (S_{LA}) frente a S_{0LA} .

Reactor LA: Verificación del indicador F/M y la carga orgánica volumétrica

Una vez establecidas las dimensiones de la unidad, se verificó que la relación alimento-microorganismos (F/M_{LA}) y la carga orgánica volumétrica ingresando al reactor ($Lorg_{LA}$) se encuentren dentro del rango admisible hallado en bibliografía, de $0.32-0.64 g_{bDQO}/g_{SSV}.d$ y $0.48-2.56 kg_{bDQO}/m^3.d$, respectivamente [21] [36] [56]. Las expresiones usadas, fueron:

$$[\text{Ec. 84}] \quad F/M_{LA} = Q_{inT2} * \frac{24 h}{1 d} * S_{0LA} / (X_{vLA} * V_{LA})$$

$$[\text{Ec. 85}] \quad Lorg_{LA} = Q_{inT2} * \frac{24 h}{1 d} * S_{0LA} * 1000 \frac{g}{kg} / (V_{LA})$$

Donde:

- F/M_{LA} [$g_{bDQO}/g_{SSV}.d$]: Indicador F/M (relación entre alimento y microorganismos) en el reactor LA - **V: 0.47 $g_{bDQO}/g_{SSV}.d$** - **I: 0.38 $g_{bDQO}/g_{SSV}.d$** .
- $Lorg_{LA}$ [$kg_{bDQO}/m^3.d$]: Carga orgánica volumétrica ingresando al reactor de lodos activados - **V: 1.32 $kg_{bDQO}/m^3.d$** - **I: 1.29 $kg_{bDQO}/m^3.d$** .
- Q_{inT2} [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - **V: 8.10 m^3/h** - **I: 7.91 m^3/h** .
- S_{0LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - **1939 g_{bDQO}/m^3** .

- $X_{V_{LA}}$ [g_{SSV}/m^3]: Concentración de microorganismos activos en el reactor de lodos activados - V: 2800 g_{SSV}/m^3 - I: 3440 g_{SSV}/m^3 .
- V_{LA} [m^3]: Volumen útil del reactor LA - V: 285.0 m^3 .

Reactor LA: Verificación del tiempo de retención para la nitrificación

Se verificó que el tiempo de permanencia hidráulico del reactor LA, obtenido para la remoción de bDQO, fuera suficiente para permitir el proceso de nitrificación del efluente (ver Tabla 45). El cálculo realizado implicó obtener la relación entre el nitrógeno plausible de ser oxidado a nitrato (Nox_{LA}) y la velocidad global de nitrificación (Rn_{LA}), en condiciones de verano (V) e invierno (I). Las expresiones utilizadas, se presentan a continuación [21]:

$$[Ec. 86] \quad TRn_{LA} = Nox_{LA}/Rn_{LA}$$

$$[Ec. 87] \quad Nox_{LA} = NTKin_{LA} - NH_3S_{LA} - Nsyn_{LA}$$

$$[Ec. 88] \quad Nsyn_{LA} = 0.08 * Yxs_{LA} * (S_{0LA} - S_{LA})$$

$$[Ec. 89] \quad Rn_{LA} = Xv_{LA} * fn_{LA} * qn_{LA} * \frac{NH_3S_{LA}}{Cn_{LA} + NH_3S_{LA}} * \frac{OD_{LA}}{Co_{LA} + OD_{LA}}$$

$$[Ec. 90] \quad fn_{LA} = \frac{Yxn_{LA} * Nox_{LA}}{Yxs_{LA} * (S_{0LA} - S_{LA}) + Yxn_{LA} * Nox_{LA}}$$

Donde:

- TRn_{LA} [d]: Tiempo de retención hidráulico requerido para permitir la nitrificación en el reactor de lodos activados - **V: 1.26 d - I: 1.45 d.**
- Nox_{LA} [g_N/m^3]: Nitrógeno capaz de ser oxidado a nitrato - **V/I: 96.26 g_N/m^3 .**
- $Nsyn_{LA}$ [g_N/m^3]: Nitrógeno sintetizado como biomasa, vinculado con el crecimiento de los microorganismos y la remoción de bCOD - **V/I: 62.91 g_N/m^3 .**
- Rn_{LA} [$g_N/m^3 \cdot d$]: Velocidad global de nitrificación - **V: 76.25 $g_N/m^3 \cdot d$ - I: 66.37 $g_N/m^3 \cdot d$.**
- fn_{LA} [g_{SSVn}/g_{SSV}]: Fracción de bacterias nitrificantes en LA - **V/I: 0.018 g_{SSVn}/g_{SSV} .**
- $NTKin_{LA}$ [g_N/m^3]: Nitrógeno NTK en el efluente de entrada (ver Tabla 47) - 189 g_N/m^3 .
- NH_3S_{LA} [g_N/m^3]: Nitrógeno amoniacal en el efluente tratado (ver Tabla 47) - 30 g_N/m^3 .
- Yxs_{LA} [g_{SSV}/g_{bDQO}]: Rendimiento de la oxidación (ver Tabla 44) - 0.45 g_{SSV}/g_{bDQO} .
- Yxn_{LA} [g_{SSV}/g_N]: Rendimiento de la oxidación, en términos del nitrógeno consumido (fracción de N sintetizada a nuevo fango biológico) (ver Tabla 44) - 0.15 g_{SSV}/g_N .
- qn_{LA} [$g_N/g_{SSVn} \cdot d$]: Tasa específica de nitrificación, vinculada con la fracción de bacterias nitrificantes (ver Tabla 44) - V: 1.68 $g_N/g_{SSVn} \cdot d$ - I: 1.19 $g_N/g_{SSVn} \cdot d$.
- S_{0LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - 1939 g_{bDQO}/m^3 .

- S_{LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato en el efluente tratado - 192 g_{bDQO}/m^3 .
- X_{VLA} [g_{SSV}/m^3]: Concentración de microorganismos activos en el reactor de lodos activados - V: 2800 g_{SSV}/m^3 - I: 3440 g_{SSV}/m^3 .
- OD_{LA} [g_{O2}/m^3]: Oxígeno disuelto en el reactor LA, tomado de ref. [21] - 2.00 g_{O2}/m^3 .
- C_{nLA} [g_N/m^3]: Coeficiente de saturación de NH_3 , tomado de ref. [21] - 0.40 g_N/m^3 .
- C_{oLA} [g_{O2}/m^3]: Coeficiente de saturación de OD, tomado de ref. [21] - 0.20 g_{O2}/m^3 .

Tabla 45: Tiempo de retención hidráulico en el reactor LA, requerido para la remoción de bCOD (TR_{LA}) y para la desnitrificación (TR_{nLA}), calculados en condiciones de verano e invierno.

	TR_{LA} (d)	TR_{nLA} (d)	Verificación
Verano	1.47	1.26	Se verifica $TR_{LA-V} > TR_{nLA-V}$
Invierno	1.50	1.45	Se verifica $TR_{LA-I} > TR_{nLA-I}$

Reactor LA: Verificación del tiempo de retención celular

Se verificó que el tiempo de retención celular resultante en el reactor de LA (θ_{cLA}) se encuentre dentro del rango admitido en bibliografía, de 3.00-15.00 d [21] [56]. La expresión utilizada posee una estructura de resolvente cuadrática, tal como se presenta:

$$[\text{Ec. 91}] \quad \theta_{cLA} = (-B_{\theta} + \sqrt{B_{\theta} * B_{\theta} - 4 * A_{\theta} * C_{\theta}}) / (2 * A_{\theta})$$

$$[\text{Ec. 92}] \quad A_{\theta} = Yx_{S_{LA}} * Kd_{LA} * (1 - f_{b_{LA}}) * (S_{0_{LA}} - S_{LA})$$

$$[\text{Ec. 93}] \quad B_{\theta} = Yx_{S_{LA}} * (S_{0_{LA}} - S_{LA}) - Kd_{LA} * Xv_{LA}$$

$$[\text{Ec. 94}] \quad C_{\theta} = -Xv_{LA} * TR_{LA}$$

Donde:

- θ_{cLA} [d]: Tiempo de retención celular en el reactor LA - **V: 7.03 d - I: 9.06 d**.
- $Yx_{S_{LA}}$ [g_{SSV}/g_{bDQO}]: Rendimiento de la oxidación (ver Tabla 44) - 0.45 g_{SSV}/g_{bDQO} .
- Kd_{LA} [d^{-1}]: Cte. de decaimiento endógeno (ver Tabla 44) - V: 0.067 d^{-1} - I: 0.058 d^{-1} .
- $S_{0_{LA}}$ [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - 1939 g_{bDQO}/m^3 .
- S_{LA} [g_{bDQO}/m^3]: Concentración de sustrato en el efluente tratado - 192 g_{bDQO}/m^3 .
- Xv_{LA} [g_{SSV}/m^3]: Concentración de microorganismos activos en el reactor de lodos activados - V: 2800 g_{SSV}/m^3 - I: 3440 g_{SSV}/m^3 .
- TR_{LA} [d]: Tiempo de retención hidráulico en el reactor LA - V: 1.47 d - I: 1.50 d.
- $f_{b_{LA}}$ [g_{bSSV}/g_{SSV}]: Fracción degradable de los SSV presentes en el efluente de ingreso al reactor LA, adoptado de ref. [21] - V/I: 0.80 g_{bSSV}/g_{SSV} .

Reactor LA: Sistema de mezcla y aireación

El reactor de lodos activados debe contar con un sistema de mezcla y aireación, capaz de brindar oxígeno suficiente para permitir la nitrificación y la remoción de materia orgánica en la unidad. Dicho requerimiento de oxígeno se calculó con las siguientes expresiones [21]:

$$[\text{Ec. 95}] \quad RO_{2LA} = RO_{2nLA} + RO_{2bLA} \quad [\text{Ec. 96}] \quad RO_{2nLA} = 4.33 * Qin_{T2} * No_{xLA} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$[\text{Ec. 97}] \quad RO_{2bLA} = (a'_{LA} * [S_{0LA} - S_{LA}]) * Qin_{T2} + b' * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * Xd * Xv_{LA} * V_{LA} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$[\text{Ec. 98}] \quad a'_{LA} = 1 - 1.4 * Y_{xS_{LA}} \quad [\text{Ec. 99}] \quad b'_{LA} = 1.4 * Kd_{LA}$$

Donde:

- RO_{2LA} [kgO₂/h]: Requerimiento total de oxígeno en el reactor LA, contemplando los procesos de nitrificación y de remoción de bDQO - **V: 10.91 kgO₂/h - I: 10.80 kgO₂/h.**
- RO_{2nLA} [kgO₂/h]: Requerimiento de oxígeno en el reactor LA, vinculado al proceso de nitrificación del efluente - **V: 3.38 kgO₂/h - I: 3.30 kgO₂/h.**
- RO_{2bLA} [kgO₂/h]: Requerimiento de oxígeno en el reactor LA, vinculado al proceso de remoción de bDQO - **V: 7.54 kgO₂/h - I: 7.50 kgO₂/h.**
- a'_{LA} [gO₂/g_{bCOD}]: Materia orgánica consumida, que es oxidada a productos finales, adoptada de ref. [21] - **V/I: 0.37 gO₂/g_{bCOD}.**
- b'_{LA} [gO₂/g_{SSV.d}]: Tasa de autooxidación de los barros generados, tomada de ref. [21] - **V: 0.094 gO₂/g_{SSV.d} - I: 0.081 gO₂/g_{SSV.d}.**
- Qin_{T2} [m³/h]: Caudal de efluente ingresando a la unidad - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- No_{xLA} [g_N/m³]: Nitrógeno capaz de ser oxidado a nitrato - V/I: 96.26 g_N/m³.
- V_{LA} [m³]: Volumen útil del reactor LA - 285.0 m³.
- S_{0LA} [g_{bDQO}/m³]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - 1939 g_{bDQO}/m³.
- S_{LA} [g_{bDQO}/m³]: Concentración de sustrato en el efluente tratado - 192 g_{bDQO}/m³.
- $Y_{xS_{LA}}$ [g_{SSV}/g_{bDQO}]: Rendimiento de la oxidación (ver Tabla 44) - 0.45 g_{SSV}/g_{bDQO}.
- Kd_{LA} [d⁻¹]: Cte. de decaimiento endógeno (ver Tabla 44) - V: 0.067 d⁻¹ - I: 0.058 d⁻¹.

Los dispositivos seleccionados para asegurar las condiciones de oxigenación en la unidad fueron difusores de burbuja fina **Repicky RG-300**, cuyas características se presentan en la Figura Anexo 21. Teniendo en cuenta el requerimiento de oxígeno obtenido para verano (RO_{2LA-V}) e invierno (RO_{2LA-I}), se calculó el caudal de aire mínimo a ser entregado por dichos difusores. Las expresiones utilizadas, se presentan a continuación [56]:

$$[\text{Ec. 100}] \quad Qreq_{aLA} = SOR_{LA} * \frac{1 \text{ Nm}^3 \text{ aire}}{0.28 \text{ kg O}_2} * \frac{100\%}{H_{LA} * SOTE_{LA}}$$

$$[\text{Ec. 101}] \quad \text{SOR}_{LA} = (\text{RO}_{2LA} * \text{CS}_{LA}) / ([\beta_{LA} * \text{CW}_{LA} - \text{OD}_{LA}] * 1.024^{20 - T_{\text{eff}}} * \alpha_{LA} * \text{FS}_{LA})$$

Donde:

- Qreq_{aLA} [Nm^3/h]: Caudal de aire mínimo requerido en el reactor LA, a ser entregado por los difusores seleccionados - **V: 375.85 Nm^3/h - I: 304.68 Nm^3/h .**
- SOR_{LA} [kgO_2/h]: Requerimiento total de oxígeno en el reactor LA, para condiciones estandarizadas (20°C , $0 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ y 1 atm) - **V: 31.57 kgO_2/h - I: 25.59 kgO_2/h .**
- H_{LA} [m]: Profundidad útil del reactor de LA - 5.0 m.
- SOTE_{LA} [%/m]: Eficiencia de transferencia de oxígeno por metro de profundidad, para una densidad de 1.35 difusores/ m^2 y un caudal de 4.00-5.00 Nm^3/h , reportada por el proveedor de los difusores seleccionados (ver Figura Anexo 21) - 6.0 %/m.
- RO_{2LA} [kgO_2/h]: Requerimiento total de oxígeno en el reactor LA, contemplando los procesos de nitrificación y de remoción de bDQO - **V: 10.91 kgO_2/h - I: 10.80 kgO_2/h .**
- OD_{LA} [gO_2/m^3]: Oxígeno disuelto en el reactor LA, tomado de ref. [21] - $2.00 \text{ gO}_2/\text{m}^3$.
- CS_{LA} [gO_2/m^3]: Concentración de saturación de oxígeno, para agua a 20°C y 1 atm , tomado de ref. [56] - V: $8.74 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ - I: $9.47 \text{ gO}_2/\text{m}^3$.
- CW_{LA} [gO_2/m^3]: Concentración de saturación de oxígeno para el efluente, en condiciones de 1 atm y temperatura T_{eff} , tomado de ref. [56] - $9.17 \text{ gO}_2/\text{m}^3$.
- T_{eff} [$^\circ\text{C}$]: Temperatura del efluente - Verano: 23°C - Invierno: 19°C .
- β_{LA} : Factor de corrección por salinidad-tensión superficial, tomado de ref. [56] - 0.95.
- α_{LA} : Factor de corrección por transferencia de oxígeno, tomado de ref. [56] - 0.60.
- FS_{LA} : Factor de seguridad, recomendado en ref. [56] - 0.90.

En función del caudal de aire Qreq_{aLA} obtenido, y teniendo en cuenta su rango de operación de $2\text{-}8 \text{ Nm}^3/\text{h}$, se proyectó la instalación de **77 difusores** operando un caudal de **5.0 Nm^3/h** durante la estación cálida ($\text{Q}_{\text{dif LA-V}}$) y de **4.0 Nm^3/h** durante la fría ($\text{Q}_{\text{dif LA-I}}$). La cantidad total de aire entregada resultó entonces de $385 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y $308 \text{ Nm}^3/\text{h}$, respectivamente, siendo en ambos casos mayor al caudal de aire Qreq_{aLA} calculado y verificando la potencia mínima requerida para la mezcla del efluente, de $0.037 \text{ Nm}^3_{\text{aire}}/\text{m}^2.\text{min}$ [46]:

$$[\text{Ec. 102}] \quad P_{\text{dif LA}} = (N_{\text{dif LA}} * Q_{\text{dif LA}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}) / (L_{LA} * A_{LA})$$

Donde:

- $P_{\text{dif LA}}$ [$\text{Nm}^3_{\text{aire}}/\text{m}^2.\text{min}$]: Caudal de aire entregado por unidad de superficie del reactor, contando todos los difusores - **V: 0.113 $\text{Nm}^3_{\text{aire}}/\text{m}^2.\text{min}$ - I: 0.090 $\text{Nm}^3_{\text{aire}}/\text{m}^2.\text{min}$.**
- $N_{\text{dif LA}}$: Cantidad de difusores instalados - 77 difusores.

- $Q_{\text{dif LA}}$ [Nm^3/h]: Caudal de operación de los difusores - V: $5.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ - I: $4.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$.
- L_{LA} [m]: Largo adoptado del reactor LA - 9.5 m.
- A_{LA} [m]: Ancho adoptado del reactor LA - 6.0 m.

Para alimentar los 77 difusores de burbuja fina, se plantea la adquisición de **3** sopladores **Repicky R500** (ver Figura Anexo 19). Se proyectó la operación simultánea de 2 sopladores durante el verano, a un caudal de aire de **$193 \text{ Nm}^3/\text{h}$** , una potencia de **6.9 HP** y **2340 rpm** cada uno. De manera similar, en invierno operarán 2 sopladores, a un caudal de **$154 \text{ Nm}^3/\text{h}$** , una potencia de **6.0 HP** y **2030 rpm**. Los equipos en uso se alternarán periódicamente.

Reactor LA: Producción de barros

La producción de barros en el reactor LA (ΔX_{LA}) se calculó contemplando la biomasa generada durante el proceso de nitrificación y de remoción de bDQO, así como también el decaimiento endógeno de los lodos [21] [56]. Las expresiones utilizadas, fueron:

$$\text{[Ec. 103]} \quad \Delta X_{\text{LA}} = (Y_{\text{XS}_{\text{LA}}} * [S_{0\text{LA}} - S_{\text{LA}}] + Y_{\text{Xn}_{\text{LA}}} * \text{Nox}_{\text{LA}}) - Kd_{\text{LA}} * Xv_{\text{LA}} * fb'_{\text{LA}} * TR_{\text{LA}}$$

$$\text{[Ec. 104]} \quad fb'_{\text{LA}} = fb_{\text{LA}} / (1 + Kd_{\text{LA}} * \theta_{\text{c}_{\text{LA}}} * [1 - fb_{\text{LA}}])$$

Donde:

- ΔX_{LA} [$\text{g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$]: Producción de barros en el reactor LA, vinculados al proceso de remoción de bDQO y de nitrificación - **V: $598.5 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$ - I: $584.9 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$.**
- fb'_{LA} [$\text{g}_{\text{bSSV}}/\text{g}_{\text{SSV}}$]: Fracción degradable de los SSV presentes en el reactor de lodos activados - **V: $0.73 \text{ g}_{\text{bSSV}}/\text{g}_{\text{SSV}}$ - I: $0.72 \text{ g}_{\text{bSSV}}/\text{g}_{\text{SSV}}$.**
- $Y_{\text{XS}_{\text{LA}}}$ [$\text{g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{bDQO}}$]: Rendimiento de la oxidación (ver Tabla 44) - $0.45 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{bDQO}}$.
- $S_{0\text{LA}}$ [$\text{g}_{\text{bDQO}}/\text{m}^3$]: Concentración de sustrato ingresando al reactor - $1939 \text{ g}_{\text{bDQO}}/\text{m}^3$.
- S_{LA} [$\text{g}_{\text{bDQO}}/\text{m}^3$]: Concentración de sustrato en el efluente tratado - $192 \text{ g}_{\text{bDQO}}/\text{m}^3$.
- $Y_{\text{Xn}_{\text{LA}}}$ [$\text{g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{N}}$]: Rendimiento de la oxidación, en términos del nitrógeno consumido (fracción de N sintetizada a nuevo fango biológico) (ver Tabla 44) - $0.15 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{N}}$.
- Nox_{LA} [$\text{g}_{\text{N}}/\text{m}^3$]: Nitrógeno capaz de ser oxidado a nitrato - V/I: $96.26 \text{ g}_{\text{N}}/\text{m}^3$.
- Kd_{LA} [d^{-1}]: Cte. de decaimiento endógeno (ver Tabla 44) - V: 0.067 d^{-1} - I: 0.058 d^{-1} .
- Xv_{LA} [$\text{g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$]: Carga de microorganismos activos en reactor LA y cámara anóxica - V: $2800 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$ - I: $3440 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{m}^3$.
- TR_{LA} [d]: Tiempo de retención hidráulico en el reactor LA - V: 1.47 d - I: 1.50 d.
- fb_{LA} [$\text{g}_{\text{bSSV}}/\text{g}_{\text{SSV}}$]: Fracción degradable de los SSV presentes en el efluente de ingreso al reactor LA, adoptado de ref. [21] - V/I: $0.80 \text{ g}_{\text{bSSV}}/\text{g}_{\text{SSV}}$.
- $\theta_{\text{c}_{\text{LA}}}$ [d]: Tiempo de retención celular en el reactor LA - V: 7.03 d - I: 9.06 d.

Cámara anóxica: Carga de NO₃⁻ ingresando a la unidad

La carga de nitrato ingresando a la cámara anóxica (Nox_{CA}) se obtuvo a partir de un balance de masas, el cual asume que no hay aporte de NO₃⁻ en el efluente de entrada al tratamiento secundario (Q_{inT2}), y que el NO₃⁻ generado durante el proceso de nitrificación (Nox_{LA}) se distribuye en las diferentes corrientes egresando del reactor LA: efluente clarificado (Q_{ST2}), recirculación interna (Q_{IRT2}), y retorno del sedimentador (Q_{RAS_{T2}}) (ver Figura 38) [56]. Las expresiones resultantes, utilizadas para calcular Nox_{CA}, se presentan a continuación:

$$[\text{Ec. 105}] \quad \text{Nox}_{CA} = \text{NO}_3^- s_{LA} * (\text{QRAS}_{T2} + \text{QIR}_{T2})$$

$$[\text{Ec. 106}] \quad \text{NO}_3^- s_{LA} = \text{Nox}_{LA} * \text{Qin}_{T2} / (\text{QRAS}_{T2} + \text{QIR}_{T2} + \text{QST}_2)$$

Donde:

- Nox_{CA} [g_N/h]: Carga de nitrato ingresando a la CA - **V: 624.1 g_N/h - I: 608.9 g_N/h.**
- NO₃⁻s_{LA} [g_N/m³]: Concentración de nitrato en el efluente tratado - **V/I: 19.25 g_N/m³.**
- Nox_{LA} [g_N/m³]: Nitrógeno capaz de ser oxidado a nitrato - V/I: 96.26 g_N/m³.
- QRAS_{T2} [m³/h]: Caudal de retorno de barros - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- Q_{IRT2} [m³/h]: Caudal de recirculación interna - V: 24.31 m³/h - I: 23.72 m³/h.
- Q_{inT2} [m³/h]: Caudal de efluente de ingreso - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- Q_{ST2} [m³/h]: Caudal de clarificado - Se simplifica Q_{ST2} ≈ Q_{inT2} (tomado de ref. [56]).

Cámara anóxica: Volumen de la unidad

La cámara anóxica se diseñó con un volumen útil de **51.2 m³** (V_{CA}). El tirante (H_{CA}) y la revancha (Re_{VCA}) se establecieron en **5.0 m** y **0.5 m**, respectivamente, para mantener una altura total coincidente con la del reactor LA. Su sección se concibió cuadrada, con **3.2 m** cada lado (L_{CA}), posibilitando compartir pared con la unidad de tratamiento adyacente.

Una vez establecidas las dimensiones de la cámara anóxica, se verificó que su capacidad de desnitrificación sea suficiente para remover el nitrato del efluente ingresando a la unidad (ver Tabla 46). La metodología empleada implicó comparar la carga de NO₃⁻ plausible de ser removida en la cámara (Noλ_{CA}) con el valor de Nox_{CA} calculado anteriormente [56]:

$$[\text{Ec. 107}] \quad \text{No}\lambda_{CA} = \text{Rdn}_{CA} * \frac{1 d}{24 h} * V_{CA} * Xv_{CA} * f dn_{LA}$$

$$[\text{Ec. 108}] \quad \text{Rdn}_{CA} = q dn_{CA} - 0.029 * \ln(F/M_{CA}) - 0.012$$

$$[\text{Ec. 109}] \quad F/M_{CA} = \text{Qin}_{T2} * \frac{24 h}{1 d} * bDQO_{inT2} / (Xv_{CA} * V_{CA})$$

Donde:

- $No\lambda_{CA}$ [g_N/h]: Carga de nitrato plausible de ser removido en la CA, por acción de las bacterias desnitrificantes - **V: 652.0 g_N/h - I: 742.8 g_N/h.**
- Rdn_{CA} [g_N/g_{SSVdn.d}]: Tasa específica de desnitrificación, ajustada con el factor F/M_{CA} (válido para Rl_{T2} entre 3-4, según ref. [56]) - **V: 0.10 g_N/g_{SSVdn.d} - I: 0.11 g_N/g_{SSVdn.d}.**
- F/M_{CA} [g_{bDQO}/g_{SSV.d}]: Relación entre carga orgánica ingresante y microorganismos activos presentes en la CA - **V: 2.63 g_{bDQO}/g_{SSV.d} - I: 2.09 g_{bDQO}/g_{SSV.d}.**
- V_{CA} [m³]: Volumen útil de la cámara anóxica - 51.2 m³.
- X_{VCA} [g_{SSV}/m³]: Microorganismos activos en CA - V: 2800 g_{SSV}/m³ - I: 3440 g_{SSV}/m³.
- fdn_{CA} [g_{SSVdn}/g_{SSV}]: Fracción de bacterias desnitrificantes en la cámara anóxica - Se estima como $fdn_{CA} \approx 1 - fn_{LA} = 0.982 \text{ g}_{SSVdn}/\text{g}_{SSV}$ (tomado de ref. [56]).
- qdn_{CA} [g_N/g_{SSVdn.d}]: Tasa específica de desnitrificación, vinculada con la fracción de bacterias desnitrificantes (ver Tabla 44) - V: 0.15 g_N/g_{SSVdn.d} - I: 0.14 g_N/g_{SSVdn.d}.
- Q_{inT2} [m³/h]: Caudal de efluente de ingreso - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- $bDQO_{inT2}$ [g_{bDQO}/m³]: Fracción biodegradable de DQO en el efluente ingresando al sistema de tratamiento biológico - 1939 g_{bDQO}/m³.

Tabla 46: Comparación entre Capacidad de desnitrificación ($No\lambda_{CA}$) y Carga de nitrato ingresando (Nox_{CA}) en la CA.

	Noλ_{CA} (g_N/h)	Nox_{CA} (g_N/h)	Verificación
Verano	652.0	624.1	Se verifica $No\lambda_{CA-V} > Nox_{CA-V}$
Invierno	742.8	608.9	Se verifica $No\lambda_{CA-I} > Nox_{CA-I}$

Cámara anóxica: Sistema de mezcla

La CA debe contar con un sistema de mezcla, capaz de homogeneizar el efluente a tratar. Como requisito, la bibliografía consultada reporta una potencia entregada de 8-13 W/m³ [56]. De esta forma, usando un valor medio de **10 W/m³** (ReqP_{CA}) y tomando una eficiencia mecánica del **60%** (ηm_{CA}), se obtuvo la potencia requerida en el mezclador (P_{mCA}):

$$[\text{Ec. 110}] \quad P_{mCA} = ReqP_{CA} * V_{CA} / \eta m_{CA}$$

Donde:

- P_{mCA} [W]: Potencia mecánica del mezclador - **853.3 W**.
- ReqP_{CP} [W/m³]: Requerimiento de potencia entregada - 10.0 W/m³.
- V_{CA} [m³]: Volumen útil de la cámara anóxica - 51.2 m³.
- ηm_{CP} : Eficiencia mecánica estimada para el mezclador - 0.60.

Adicionalmente, se evaluó la necesidad de incorporar un agente reductor en la CA, capaz de donar electrones y permitir la reacción de desnitrificación. Siendo que la materia orgánica

del efluente puede actuar como agente reductor, la metodología empleada implicó calcular la demanda de bDQO dentro de la cámara anóxica ($RbDQO_{CA}$), tal como se expone a continuación [31]. El resultado obtenido verificó que la carga orgánica ingresando al sistema de tratamiento secundario ($CbDQO_{inT_2}$) es suficiente para satisfacer $RbDQO_{CA}$.

$$[\text{Ec. 111}] \quad CbDQO_{inT_2} = Qin_{T_2} * bDQO_{inT_2} * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g})$$

$$[\text{Ec. 112}] \quad RbDQO_{CA} = No_{X_{CA}} * (\Delta S/\Delta N_{ar_{CA}}) * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g})$$

Donde:

- $CbDQO_{inT_2}$ [$\text{kg}_{bCOD}/\text{h}$]: Carga orgánica entrando a la línea de tratamiento secundario - **V: 15.72 $\text{kg}_{bCOD}/\text{h}$ - I: 15.33 $\text{kg}_{bCOD}/\text{h}$.**
- $RbDQO_{CA}$ [$\text{kg}_{bCOD}/\text{h}$]: Demanda de bDQO en la cámara anóxica, vinculada a la desnitrificación del efluente - **V: 3.65 $\text{kg}_{bCOD}/\text{h}$ - I: 3.54 $\text{kg}_{bCOD}/\text{h}$**
- $No_{X_{CA}}$ [g_N/h]: Carga de nitrato ingresando a la CA - V: 624.1 g_N/h - I: 608.9 g_N/h .
- $\Delta S/\Delta N_{ar_{CA}}$ [$\text{g}_{bDQO}/\text{g}_N$]: Requerimiento específico de bCOD, vinculado a su efecto como agente reductor en la desnitrificación, adoptado de ref. [31] - 5.83 $\text{g}_{bDQO}/\text{g}_N$.
- Qin_{T_2} [m^3/h]: Caudal de efluente de ingreso - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- $bDQO_{inT_2}$ [$\text{g}_{bDQO}/\text{m}^3$]: Fracción biodegradable de DQO en el efluente ingresando al sistema de tratamiento biológico - 1939 $\text{g}_{bDQO}/\text{m}^3$.

Cámara anóxica: Producción de barros

La producción de barros en la cámara anóxica (ΔX_{CA}) se calculó contemplando la biomasa generada durante la desnitrificación, y la degradada por decaimiento endógeno [21] [56]:

$$[\text{Ec. 113}] \quad \Delta X_{CA} = \left(Sdn_{CA} * Y_{xSLA} - Kd_{LA} * Xv_{LA} * fdn_{LA} * fb'_{LA} * \frac{V_{CA}}{Qin_{T_2}} \right) * \eta dn_{CA}$$

$$[\text{Ec. 114}] \quad Sdn_{CA} = (\Delta S/\Delta N dn_{CA}) * No_{\lambda_{CA}}/Qin_{T_2}$$

$$[\text{Ec. 115}] \quad \eta dn_{CA} = 1 - \frac{1}{Rl_{T_2} + Rb_{T_2} + 1}$$

Donde:

- ΔX_{CA} [$\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$]: Producción de barros en la CA - **V: 78.6 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$ - I: 94.7 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$.**
- Sdn_{CA} [$\text{g}_{bDQO}/\text{m}^3$]: Carga de bCOD removida en la cámara anóxica, vinculada al proceso de desnitrificación - **V: 298 $\text{g}_{bDQO}/\text{m}^3$ - I: 348 $\text{g}_{bDQO}/\text{m}^3$.**
- ηdn_{CA} : Eficiencia del proceso de desnitrificación – **V/I: 0.80.**
- $\Delta S/\Delta N dn_{CA}$ [$\text{g}_{bDQO}/\text{g}_N$]: Tasa de remoción de bCOD, vinculada a la desnitrificación del efluente, adoptada de ref. [21] - V/I: 3.70 $\text{g}_{bDQO}/\text{g}_N$.

- $No_{\lambda CA}$ [g_N/h]: Carga de nitrato plausible de ser removido en la CA, por acción de las bacterias desnitrificantes - V: 652.0 g_N/h - I: 742.8 g_N/h .
- $Y_{X_{SLA}}$ [g_{SSV}/g_{bDQO}]: Rendimiento de la oxidación (ver Tabla 44) - 0.45 g_{SSV}/g_{bDQO} .
- K_{dLA} [d^{-1}]: Cte. de decaimiento endógeno (ver Tabla 44) - V: 0.067 d^{-1} - I: 0.058 d^{-1} .
- X_{VLA} [g_{SSV}/m^3]: Carga de microorganismos activos en reactor LA y cámara anóxica - V: 2800 g_{SSV}/m^3 - I: 3440 g_{SSV}/m^3 .
- fdn_{CA} [g_{SSVdn}/g_{SSV}]: Fracción de bacterias desnitrificantes en la cámara anóxica - Se estima como $fdn_{CA} \approx 1 - fn_{LA} = 0.982 g_{SSVdn}/g_{SSV}$ (tomado de ref. [56]).
- fb'_{LA} [g_{bSSV}/g_{SSV}]: Fracción degradable de los SSV presentes en el reactor de lodos activados - V: 0.73 g_{bSSV}/g_{SSV} - I: 0.72 g_{bSSV}/g_{SSV} .
- V_{CA} [m^3]: Volumen útil de la cámara anóxica - 51.2 m^3 .
- Q_{inT2} [m^3/h]: Caudal de efluente de ingreso - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- R_{IT2} : Factor de recirculación interna, entre el reactor LA y la cámara anóxica - 3.00.
- RB_{T2} : Tasa de retorno de barros, provenientes del sedimentador secundario – 1.00.

Eficiencias de remoción

El sistema de tratamiento secundario se diseñó con una eficiencia de remoción de DBO y bDQO del 90%, respetando el rango reportado en bibliografía para reactores LA de 85-95% [14] [31] [56]. La remoción de DQO se obtuvo luego, a partir de la diferencia entre la carga másica de bDQO removida y la de DQO ingresando en la unidad (ver Tabla 47).

Con respecto a la carga de nitrógeno, se adoptó una concentración de salida de 30 g_{NH_3}/m^3 para NH_3-N y de 50 g_N/m^3 para NTK, ambos por debajo del límite normativo (ver Tabla 11). En las secciones de diseño del reactor LA y la CA, se verificó que las dimensiones adoptadas para estas unidades permitan alcanzar los valores de vuelco propuestos.

Finalmente, la eficiencia global de la unidad para la remoción de detergentes, grasas y fósforo total se obtuvo a partir de un relevamiento bibliográfico [14] [70] (ver Tabla 47).

Tabla 47: Caracterización del efluente ingresando y egresando al sistema de tratamiento biológico, conformado por una cámara anóxica, un reactor de lodos activados, y un sedimentador secundario.

Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
DQO (g/m^3)	2165	417	81 %
DBO (g/m^3)	1212	120	90 %
SST (g_{SST}/m^3)	280	280	-
Cromo total (g_{Cr}/m^3)	0.93	0.93	-
NH_3-N (g_{NH_3}/m^3)	114	30	74 %

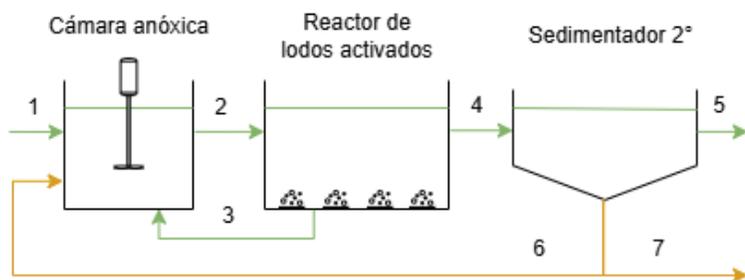
Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
NTK (g_N/m^3)	189	50	74 %
Fósforo total (g_P/m^3)	5	4	20 %
Sulfato (g_{SO_4}/m^3)	531	531	-
pH (upH)	7.0	7.0	-
Cl- (g_{Cl}/m^3)	2687	2687	-
Grasas SSEE (g/m^3)	52	15	70 %
Detergentes SAAM (g/m^3)	18	2	90 %

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 48: Reactor de lodos activados y cámara preanóxica para la línea de tratamiento secundario.

		Verano	Invierno
Balance de caudales			
Caudal de efluente de ingreso (m^3/h)	Q_{intT_2}	8.10	7.91
Caudal de recirculación interna (m^3/h)	$Q_{IR_{T_2}}$	24.31	23.72
Caudal de retorno de barros (m^3/h)	$Q_{RAS_{T_2}}$	8.10	7.91
Reactor de lodos activados			
Longitud y ancho (m)	$L_{LA} - A_{LA}$	9.5 - 6.0	
Profundidad total (m)	$H_{t_{LA}}$	5.5	
Profundidad útil y revancha (m)	$H_{LA} - Re_{V_{LA}}$	5.0 - 0.5	
Tiempo de retención hidráulico (d)	TR_{LA}	1.47	1.50
Microorganismos activos (g_{SSV}/m^3)	$X_{V_{LA}}$	2800	3440
Producción de barros (g_{SSV}/m^3)	ΔX_{LA}	598.5	584.9
Reactor de lodos activados: Sistema de mezcla y aireación			
Bomba de recirculación interna a CA		Grundfos - SLV.65.65.09.2.50B	
Descripción sistema de mezcla y aireación		Difusores de burbuja fina y sopladores	
Marca y modelo de difusores		Repicky - RG-300	
Número de difusores	$N_{dif LA}$	77	
Densidad de difusores ($difusores/m^2$)	$\rho_{dif LA}$	1.35 (Rango admisible: 1.00 a 6.00)	
Caudal de aire/difusor (Nm^3/h)	$Q_{dif LA}$	5.0	4.0
Marca y modelo de sopladores		Repicky - R500	
Número de unidades totales y activas	$N_{sop LA} - N_{sop a LA}$	3 - 2	
Caudal de aire/soplador (Nm^3/h)	$Q_{sop LA}$	193	154
Potencia/soplador (HP)	$P_{sop LA}$	6.9	6.0
Revoluciones del soplador (rpm)	RPM_{LA}	2340	2030
Reactor de lodos activados: Parámetros de verificación			
Relación F/M ($g_{bDQO}/g_{SSV}.d$)	F/M_{LA}	0.47	0.38
Carga orgánica volumétrica ($kg_{bDQO}/m^3.d$)	$L_{org LA}$	1.32	1.29

		Verano	Invierno
Tiempo de retención celular (d)	θ_{CLA}	7.03	9.06
Tiempo de retención para la nitrificación (d)	TR_{nLA}	1.26	1.45
Requerimiento mínimo de aire (Nm^3/h)	$Q_{reqa LA}$	375.8	304.7
Cámara anóxica			
Longitud del lado (m)	L_{CA}	3.2	
Profundidad total (m)	H_{tCA}	5.5	
Profundidad útil y revancha (m)	$H_{CA} - Re_{VCA}$	5.0 - 0.5	
Tiempo de retención hidráulico (d)	TR_{CA}	0.26	0.27
Microorganismos activos (g_{SSV}/m^3)	X_{VCA}	2800	3440
Producción de barros (g_{SSV}/m^3)	ΔX_{CA}	78.6	94.7
Cámara anóxica: Sistema de mezcla			
Descripción sistema de mezcla		Agitador mecánico con motorreductor	
Potencia requerida (W)	P_{mCA}	853.3	
Cámara anóxica: Parámetros de verificación			
Carga de nitrato ingresando a CA (g_N/h)	No_{XCA}	624.1	608.9
Capacidad de desnitrificación de CA (g_N/h)	$No_{\lambda CA}$	652.0	742.8
Carga de bDQO ingresando a CA (kg_{bDQO}/h)	$Cb_{DQOinT2}$	15.72	15.33
Demanda de bDQO en CA (kg_{bDQO}/h)	Rb_{DQOCA}	3.65	3.54



Ref.	Caudal	Sustrato	Nitrógeno
1	Q_{inT2}	S_{0LA}	NTK_{inLA}
2	$Q_{inT2} + Q_{IR_{T2}} + Q_{RAS_{T2}}$	S_{0LA}	NTK_{sLA}
3	$Q_{IR_{T2}}$	$S_{LA} (<< S_{0LA})$	NTK_{sLA}
4	$Q_{inT2} + Q_{RAS_{T2}}$	S_{LA}	NTK_{sLA}
5	Q_{sT2}	S_{LA}	NTK_{sLA}
6	$Q_{RAS_{T2}}$	$S_{LA} (<< S_{0LA})$	NTK_{sLA}
7	Q_{pT2}	$S_{LA} (barros)$	$NTK_{sLA} (barros)$

Figura 38: Balance de masas para el sistema de tratamiento secundario, conformado por la cámara anóxica, el reactor LA y el sedimentador secundario. Se desprecia el aporte de sustrato en el retorno de barros y en la recirculación interna (S_{LA}) frente a S_{0LA} .

Sedimentador secundario

El efluente prosigue hacia un sedimentador secundario (S2), donde la biomasa generada en la CA y el reactor LA es concentrada por decantación (ver Figura 39). Esta unidad cuenta con un retorno de barros hacia la cámara anóxica ($Q_{RAS_{T2}}$), y con un caudal de purga (Q_{pT2}) vinculado al sistema de tratamiento de lodos sin cromo.

El siguiente apartado detalla el diseño del sedimentador secundario. Se consideró válida la producción de barros y la concentración de biomasa X_{pT2} calculadas en el inciso anterior.

Balance de caudales

El caudal de purga del sedimentador se estimó a partir de la producción de barros en la CA (ΔX_{CA}) y el reactor LA (ΔX_{LA}), para la estación cálida y fría [21] [56]. En función de este dato, se realizó un balance de caudales para la unidad (ver Figura 38):

$$[\text{Ec. 116}] \quad Q_{p_{T2}} = Q_{in_{T2}} * (\Delta X_{LA} + \Delta X_{CA}) / X_{p_{T2}} \quad [\text{Ec. 117}] \quad Q_{S_{T2}} = Q_{in_{T2}} - Q_{p_{T2}}$$

$$[\text{Ec. 118}] \quad Q_{S2_{T2}} = Q_{in_{T2}} + Q_{RAS_{T2}}$$

Donde:

- $Q_{p_{T2}}$ [m^3/h]: Caudal de lodos purgados del S2 - **V: 0.98 m^3/h - I: 0.78 m^3/h .**
- $Q_{S_{T2}}$ [m^3/h]: Caudal de clarificado, saliendo del S2 - **V: 7.12 m^3/h - I: 7.13 m^3/h .**
- $Q_{S2_{T2}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando al S2 - **V: 16.21 m^3/h - I: 15.81 m^3/h .**
- $Q_{in_{T2}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando al sistema - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- $Q_{RAS_{T2}}$ [m^3/h]: Caudal de retorno de barros - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- ΔX_{LA} [$\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$]: Producción de barros: reactor LA - V: 598.5 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$ - I: 584.9 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$.
- ΔX_{CA} [$\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$]: Producción de barros: CA - V: 78.6 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$ - I: 94.7 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$.
- $X_{p_{T2}}$ [$\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$]: Concentración de biomasa en la corriente de retorno y de purga del sedimentador secundario - V: 5600 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$ - I: 6880 $\text{g}_{SSV}/\text{m}^3$.

Zona de entrada

El S2 se proyectó con sección circular, tal que el efluente ingrese desde el centro y atraviese radialmente la unidad. Se utilizó una placa perforada cilíndrica como estructura de entrada, de **0.25 m** de diámetro ($D_{pp_{S2}}$) y **0.50 m** de altura ($H_{pp_{S2}}$), ubicada a una profundidad de 0.50 m respecto del tirante (aprox. $1/6 H_{sed_{S2}}$) [8]. Dicha placa se diseñó con **24 orificios** ($N_{or_{S2}}$), de **6.00 cm** de diámetro ($D_{or_{S2}}$), equiespaciados en 4 filas de 6 columnas cada una.

Para verificar que el gradiente de velocidad del efluente ingresando a la unidad respete el umbral recomendado de 20.0 s^{-1} [8] [109], se emplearon las mismas expresiones que en el caso del sedimentador primario, [Ec. 36] y [Ec. 37]. Así, reemplazando el diámetro y número de orificios por los valores $N_{or_{S2}}$ y $D_{or_{S2}}$, considerando un coeficiente de rugosidad para metal liso de 0.010, y usando como caudal de ingreso $Q_{S2_{T2}}$, se obtuvo una velocidad de ingreso del efluente de **0.066 m/s** en verano ($V_{or_{S2-V}}$) y **0.065 m/s** en invierno ($V_{or_{S2-I}}$), y un gradiente de **12.0 s^{-1}** para la estación cálida ($G_{V_{or_{S2-V}}}$) y **12.5 s^{-1}** para la fría ($G_{V_{or_{S2-I}}}$).

Para disminuir la energía cinética del efluente ingresando al S2, se plantea incorporar un cilindro deflector, concéntrico a la estructura de entrada. Su profundidad sumergida se

estableció en **1.50 m** (Hcd_{S2}) y su diámetro en **1.20 m** (Dcd_{S2}), siendo este último compatible con el criterio presentado a continuación [24] [109]:

$$[\text{Ec. 119}] \quad Dcd_{min\ S2} = Dpp_{S2} + 2 * X0_{S2} \quad [\text{Ec. 120}] \quad X0_{S2} = S0_{S2} * F(Re_{S2})_{S2}$$

$$[\text{Ec. 121}] \quad Re_{S2} = (v_{or\ S2} * D_{or\ S2}) / \mu_{efl}$$

Donde:

- $Dcd_{min\ S2}$ [m]: Diámetro mínimo para el cilindro deflector - **V/I: 1.15 m**
- $X0_{S2}$ [m]: Alcance de los chorros ocasionados en la placa de ingreso - **V/I: 0.45 m.**
- Re_{S2} : Número de Reynolds en los orificios de la placa de ingreso - **V: 3969 - I: 3872.**
- Dpp_{S2} [m]: Diámetro adoptado para la placa de ingreso - 0.25 m.
- $S0_{S2}$ [m]: Distancia entre centros de orificios de la placa de ingreso (ver plano 14 en Anexo IX) - 0.10 m.
- $F(Re_{S2})_{S2}$ [m/m]: Relación entre $X0_{S2}$ y $S0_{S2}$, obtenida gráficamente a partir del número de Reynolds (ver Figura Anexo 25) - 4.5 m/m.
- $v_{or\ S2}$ [m/s]: Velocidad en orificios de la placa de ingreso - V: 0.066 m/s - I: 0.065 m/s.
- $D_{or\ S2}$ [m]: Diámetro de orificios de la placa de ingreso - 0.06 m.
- μ_{efl} [Pa.s]: Viscosidad dinámica (se consideró agua a 20°C) - $1.003 * 10^{-3}$ Pa.s.

Zona de sedimentación

La zona de sedimentación se diseñó con un diámetro de **4.00 m** ($Dsed_{S2}$), una profundidad útil de **2.00 m** ($Hsed_{S2}$), y una revancha de **0.20 m** (Rev_{S2}). En base a estas dimensiones, se verificó que la carga superficial ($Csup_{S2}$), la carga de sólidos ($Csol_{S2}$) y el tiempo de retención hidráulico (TR_{S2}) resultantes respeten el rango admisible de 16.0-33.0 m³/d.m², 4.0-6.0 kg_{SST}/h.m² y 2.00-4.00 h, respectivamente, reportados en bibliografía para un proceso de sedimentación secundaria asociada a un reactor de LA [8] [56] [109]:

$$[\text{Ec. 122}] \quad Csup_{S2} = \left(\frac{24\ h}{1\ d} * Qin_{T2} * 4 \right) / (\pi * [Dsed_{S2}^2 - Dcd_{S2}^2])$$

$$[\text{Ec. 123}] \quad Csol_{S2} = \left(\frac{1\ kg}{1000\ g} * QS2_{T2} * SST_{LA} * 4 \right) / (\pi * [Dsed_{S2}^2 - Dcd_{S2}^2])$$

$$[\text{Ec. 124}] \quad TR_{DAF} = \frac{24\ h}{1\ d} * Hsed_{S2} / Csup_{S2}$$

Donde:

- $Csup_{S2}$ [m³/d.m²]: Carga superficial aplicada - **V: 17.0 m³/d.m² - I: 16.6 m³/d.m².**
- $Csol_{S2}$ [kg_{SST}/h.m²]: Carga de sólidos aplicada - **V: 5.0 kg_{SST}/h.m² - I: 5.9 kg_{SST}/h.m².**

- TR_{DAF} [h]: Tiempo de retención hidráulico del S2 - **V: 2.82 h - I: 2.89.**
- Q_{inT2} [m³/h]: Caudal de efluente ingresando al sistema - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- $QS2_{T2}$ [m³/h]: Caudal de efluente ingresando al S2 - V: 16.21 m³/h - I: 15.81 m³/h.
- SST_{LA} [g_{SST}/m³]: Carga de SST en reactor LA y CA - V: 3500 g_{SST}/m³ - I: 4300 g_{SST}/m³.
- H_{sedS2} [m]: Profundidad útil de la zona de sedimentación - 2.00 m.
- D_{sedS2} [m]: Diámetro de la zona de sedimentación - 4.00 m.
- D_{cdS2} [m]: Diámetro del cilindro deflector, localizado en el ingreso del S2 - 1.20 m.

Respecto a la altura útil de la zona de sedimentación, se verificó que el valor adoptado para H_{sedS2} (2.00 m) cumpla con la profundidad mínima propuesta por la norma alemana ATV A131. La expresión que calcula dicho valor umbral, se presenta a continuación [8]:

$$[\text{Ec. 125}] \quad H_{sed_{min S2}} = H1_{S2} + H2_{S2} \qquad [\text{Ec. 126}] \quad H1_{S2} = 0.5 \text{ m}$$

$$[\text{Ec. 127}] \quad H2_{S2} = \left(\frac{C_{supS2}}{2} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * \left[1 + \frac{QRAS_{T2}}{Q_{inT2}} \right] \right) / \left(1 - SST_{LA} * DSVI_{LA} * \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \right)$$

Donde:

- $H_{sed_{min S2}}$ [m]: Altura mínima para la zona de sedimentación - **V: 1.51 m - I: 1.68 m.**
- C_{supS2} [m³/d.m²]: Carga superficial aplicada - V: 17.0 m³/d.m² - I: 16.6 m³/d.m².
- $QRAS_{T2}$ [m³/h]: Caudal de retorno de barros - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- Q_{inT2} [m³/h]: Caudal de efluente ingresando al sistema - V: 8.10 m³/h - I: 7.91 m³/h.
- SST_{LA} [g_{SST}/m³]: Carga de SST en reactor LA y CA - V: 3500 g_{SST}/m³ - I: 4300 g_{SST}/m³.
- $DSVI_{LA}$ [g/cm³]: Índice volumétrico de lodos diluido, correspondiente a lodos de sedimentabilidad media, adoptado de ref. [8] - V/I: 120 g/cm³.

Zona de salida

Se plantea la instalación de una pantalla deflectora, periférica a la zona de sedimentación, para prevenir arrastre de material flotante junto con el clarificado. El diámetro del deflector se estableció en **4.00 m** (D_{dpS2}) y la profundidad sumergida en **0.50 m** (H_{dpS2}). Se concibió un espacio de 10 cm entre el deflector y la estructura de salida de la unidad, resultando en un diámetro total para la cámara de sedimentación de **4.20 m** (D_{totS2}).

Para permitir la salida del efluente tratado, se proyectaron **24** vertederos triangulares tipo Thompson sobre la pared perimetral de la unidad (ver Figura 28). Los mismos se diseñaron con una separación de **15°**, una apertura de **90°** (α_{vtS2}), un ancho de **6.0 cm** (A_{vtS2}), y una altura de **10.0 cm** (H_{vtS2}). El tramo en forma de "V" se obtuvo por trigonometría, resultando

en **3.0 cm** de altura ($H_{vt_{S2}}$). La distancia entre vertederos ($d_{vt_{S2}}$) se calculó con la misma expresión que para el caso del sistema de flotación DAF, [Ec. 64], resultando en **49.0 cm**.

Una vez definidas las características de la estructura de salida, se verificó que el caudal recolectado por metro lineal ($Q_{ad_{S2}}$) respete el límite admisible reportado en bibliografía de $6.5 \text{ m}^3/\text{h.m}$, y que el tirante sobre el vértice de los vertederos ($h_{vt_{S2}}$) permita una revancha de al menos 7.0 cm [24] [36]. Las expresiones utilizadas fueron las mismas que para el caso del sedimentador de la línea de curtido y recurtido, [Ec. 47] y [Ec. 48], contemplando un clarificado de $7.12 \text{ m}^3/\text{h}$ en verano (Q_{ST2-V}), un clarificado de $7.13 \text{ m}^3/\text{h}$ en invierno (Q_{ST2-I}), y reemplazando el término $Ased_{S1}$ por el perímetro de la unidad (13.19 m). Los resultados obtenidos fueron **$Q_{ad_{S2}}$: $0.5 \text{ m}^3/\text{h.m}$ - $h_{vt_{S2}}$: 2.0 cm** (válidos para estación cálida y fría).

Luego de atravesar los vertederos por rebalse, el efluente tratado es recolectado en dos canaletas especulares, que recorren el perímetro de la unidad y culminan en el mismo punto de salida. Utilizando la misma expresión que para el sistema de flotación DAF, [Ec. 49], se verificó que el tirante máximo en la estructura de recolección asegure una revancha de al menos 5.0 cm [24]. Así, considerando una sección cuadrada de **15.0 cm** de lado ($L_{ct_{S2}}$), y un clarificado de $7.12 \text{ m}^3/\text{h}$ en verano (Q_{ST2-V}) y de $7.13 \text{ m}^3/\text{h}$ en invierno, se obtuvo un tirante máximo de **5.0 cm** ($h_{om_{S2}}$) en cada canaleta (válido para estación cálida y fría).

Zona de lodos

El fondo del sedimentador se diseñó con geometría de cono truncado, tal que actúe como tolva para la recepción de biomasa decantada. La base se dimensionó con un diámetro de **30 cm** ($D_{tolva_{S2}}$) y se localizó en el centro de la unidad, a una profundidad de **2.50 m** respecto a la zona de sedimentación ($H_{tolva_{S2}}$). Utilizando relaciones trigonométricas (ver [Ec. 66] del sistema de flotación DAF), se obtuvo una pendiente para la tolva de **52°** ($\theta_{b_{S2}}$), la cual verifica el valor bibliográfico mínimo de 50° [24].

Con respecto a la profundidad de la tolva, se verificó que el valor adoptado para $H_{tolva_{S2}}$ (2.50 m) cumpla con la profundidad mínima propuesta por la norma alemana ATV A131. La expresión que calcula dicho valor umbral, se presenta a continuación [8]:

$$[\text{Ec. 128}] \quad H_{tolva_{min S2}} = H_{3_{S2}} + H_{4_{S2}}$$

$$[\text{Ec. 129}] \quad H_{3_{S2}} = SST_{LA} * DSVI_{LA} * \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} * C_{sup_{S2}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * \left[1 + \frac{QRAS_{T2}}{Q_{in_{T2}}} \right] * 3$$

$$[\text{Ec. 130}] \quad H_{4_{S2}} = SST_{LA} * DSVI_{LA} * \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} * C_{sup_{S2}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * \left[1 + \frac{QRAS_{T2}}{Q_{in_{T2}}} \right] * \frac{te_{S2} * 1000}{te_{S2} * 300 + 500}$$

Donde:

- $H_{tolva_{min S2}}$ [m]: Profundidad mínima para la zona de lodos - **V: 2.09 m - I: 2.50 m.**
- SST_{LA} [g_{SST}/m^3]: Carga de SST en reactor LA y CA - V: 3500 g_{SST}/m^3 - I: 4300 g_{SST}/m^3 .
- $DSVI_{LA}$ [g/cm^3]: Índice volumétrico de lodos diluido, correspondiente a lodos de sedimentabilidad media, adoptado de ref. [8] - V/I: 120 g/cm^3 .
- $C_{sup_{S2}}$ [$m^3/d.m^2$]: Carga superficial aplicada - V: 17.0 $m^3/d.m^2$ - I: 16.6 $m^3/d.m^2$.
- $QRAS_{T2}$ [m^3/h]: Caudal de retorno de barros - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- $Q_{in_{T2}}$ [m^3/h]: Caudal de efluente ingresando al sistema - V: 8.10 m^3/h - I: 7.91 m^3/h .
- $t_{e_{S2}}$ [h]: Tiempo de espesamiento, adoptado de ref. [8] - V/I: 1.00 h.

Sistema de extracción de barros

La biomasa sedimentada es dirigida por gravedad hasta la base de la tolva, donde una fracción es recirculada hacia la cámara anóxica ($QRAS_{S2}$), y la otra es purgada ($Q_{p_{T2}}$) hacia el sistema de tratamiento de lodos. Por su parte, las espumas que pudieran generarse son retenidas por el deflector perimetral, y arrastradas por un barredor superficial hasta una trampa de flotantes (velocidad de operación: 30 cm/min) [21] [24].

Los lodos recolectados son impulsados mediante una bomba de succión inundada **EDDY Pump HD1K**, la misma que para el sedimentador S1, operando a un caudal igual a la suma entre $QRAS_{S2}$ y $Q_{p_{T2}}$ (**V: 9.08 m^3/h - I: 8.69 m^3/h**). Se definió un diámetro de **5.08 cm (2")** para las cañerías de descarga (Db_{S2}), el cual es compatible con las dimensiones de la tolva y la sección de salida de la bomba elegida (ver especificaciones en la Figura Anexo 34).

Se plantea la implementación de un sistema de válvulas aguas abajo de la bomba EDDY, para modificar el caudal de recirculación y purga de acuerdo a las necesidades del sistema.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 49: Sedimentador secundario para la línea de tratamiento biológico.

		Verano	Invierno
Balance de caudales			
Caudal de efluente ingresando al S2 (m^3/h)	QS_{T2}	16.21	15.81
Caudal de retorno de barros (m^3/h)	$QRAS_{T2}$	8.10	7.91
Caudal de lodos purgados (m^3/h)	$Q_{p_{T2}}$	0.98	0.78
Caudal de clarificado, saliendo del S2 (m^3/h)	QS_{T2}	7.12	7.13
Zona de entrada			
Estructura de entrada		Placa perforada cilíndrica, ubicada a 0.50 m del tirante del S2, y deflector concéntrico	

		Verano	Invierno
Diámetro placa perforada (m)	D_{pps2}	0.25	
Altura placa perforada (totalmente sumergida) (m)	H_{pps2}	0.50	
Número y diámetro de orificios (cm)	$N_{or\ S2} - D_{or\ S2}$	24 orif. - 6.00	
Diámetro cilindro deflector (m)	D_{cds2}	1.20	
Altura sumergida cilindro deflector (m)	H_{cds2}	1.50	
Zona de sedimentación			
Diámetro total sedimentador (m)	D_{tots2}	4.20	
Diámetro zona de sedimentación (m)	$D_{sed\ S2}$	4.00	
Profundidad zona de sedimentación (m)	$H_{sed\ S2}$	2.00	
Revancha sedimentador (m)	Rev_{S2}	0.20	
Zona de salida			
Estructura de retención del material flotante		Pantalla deflectora	
Diámetro pantalla deflectora (m)	D_{pds2}	4.00	
Profundidad sumergida pantalla deflectora (m)	H_{pds2}	0.50	
Estructura de salida		24 vertederos Thompson equiespaciados	
Ángulo de apertura (°)	α_{vts2}	90	
Alto de vertedero (total - tramo en "V") (cm)	$H_{vts2} - H_{vts2}$	10.0 - 3.0	
Revancha en vertederos (cm)	Rev_{vts2}	8.0	
Ancho y distancia entre vertederos (cm)	$A_{vts2} - d_{vts2}$	6.0 - 49.0	
Estructura de recolección		2 canaletas de sección cuadrada	
Longitud de lado de canaleta (cm)	L_{ctas2}	15.0	
Revancha en canaleta (cm)	Rev_{ctas2}	10.0	
Zona de lodos			
Estructura de la zona de lodos		Tolva con forma de cono truncado	
Pendiente de la tolva (°)	θ_{bs2}	52	
Diámetro de la base de la tolva (cm)	$D_{tolvas2}$	30	
Profundidad de tolva, respecto a zona de sed. (m)	$H_{tolvas2}$	2.50	
Sistema de recolección de barros			
Sistema de recolección de espumas		Barredor superficial con trampa de flotantes	
Velocidad de funcionamiento de barredor (cm/min)		30	
Estructura de recolección de lodos		Conductos de PVC, con sistema de válvulas para ajustar caudal de purga y recirculación	
Diámetro de cañerías de recolección de lodos (cm)	D_{bs2}	5.08 (2")	
Marca y modelo de bomba de succión		EDDY Pump - HD1K	
Caudal de operación (m ³ /h)	$Q_{bombas2}$	9.08	8.69

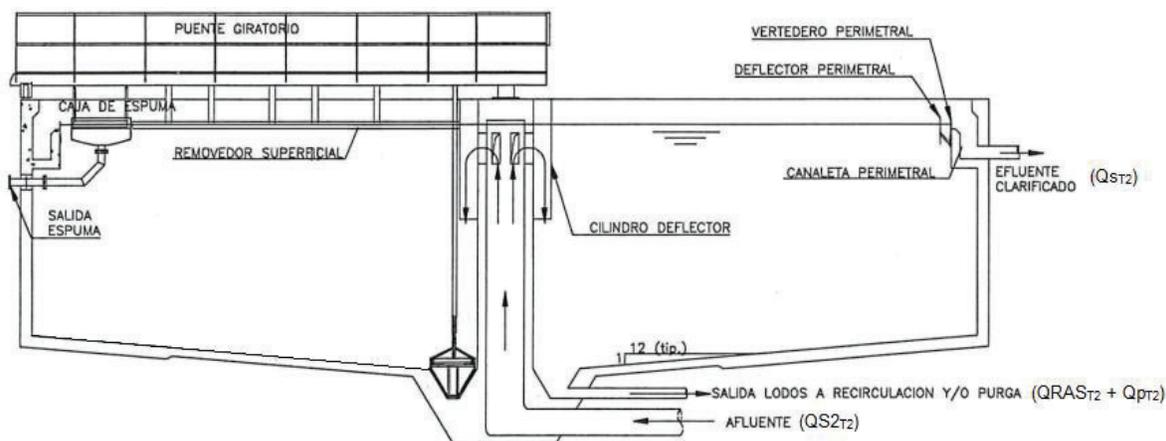


Figura 39: Esquema de sedimentador secundario. Ref.: [8].

Cámara de aforo y toma de muestras

Como última instancia del sistema de tratamiento de efluentes líquidos, se incluye una cámara de aforo y toma de muestras (CAM) tipo vertedero de pared delgada. El caudal de entrada se consideró igual al clarificado del S2 (Q_{sT_2}), de $7.12 \text{ m}^3/\text{h}$ en verano y $7.13 \text{ m}^3/\text{h}$ en invierno. Las características fisicoquímicas del efluente se extrajeron de la Tabla 47.

Dimensionamiento de la cámara de aforo

El diseño de la CAM se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por la Resolución N° 607/2012 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable [84]. Las dimensiones obtenidas para la unidad, se presentan en la Figura 40.

Valores de vuelco

La Tabla 50 presenta las características fisicoquímicas del efluente egresando de la CAM, el cual es luego vertido en la red cloacal local. Se observa que, para todos los parámetros evaluados, la concentración de vertido se encuentra por debajo del 60% del límite de vuelco normativo. En el caso del pH, el valor de vuelco respeta el rango admisible normativo.

Tabla 50: Caracterización del efluente egresando de la cámara de aforo y toma de muestras. Se incluyen los valores máximos admisibles adoptados para cada parámetro, presentados en la Tabla 11.

Parámetro	Salida	Límite de vuelco
DQO (g/m^3)	417	≤ 700
DBO (g/m^3)	120	≤ 200
SST ($\text{g}_{\text{SST}}/\text{m}^3$)	280	NE
Cromo total ($\text{g}_{\text{Cr}}/\text{m}^3$)	0.93	≤ 2.0
$\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{g}_{\text{NH}_3}/\text{m}^3$)	30	≤ 75

Parámetro	Salida	Límite de vuelco
NTK (g_N/m^3)	50	≤ 105
Fósforo total (g_P/m^3)	4	≤ 10
Sulfato (g_{SO_4}/m^3)	531	≤ 1000
pH (upH)	7.0	7.0 a 10
Cl- (g_{Cl}/m^3)	2687	NE
Grasas SSEE (g/m^3)	15	≤ 100
Detergentes SAAM (g/m^3)	2	≤ 10

Resumen del diseño de la unidad

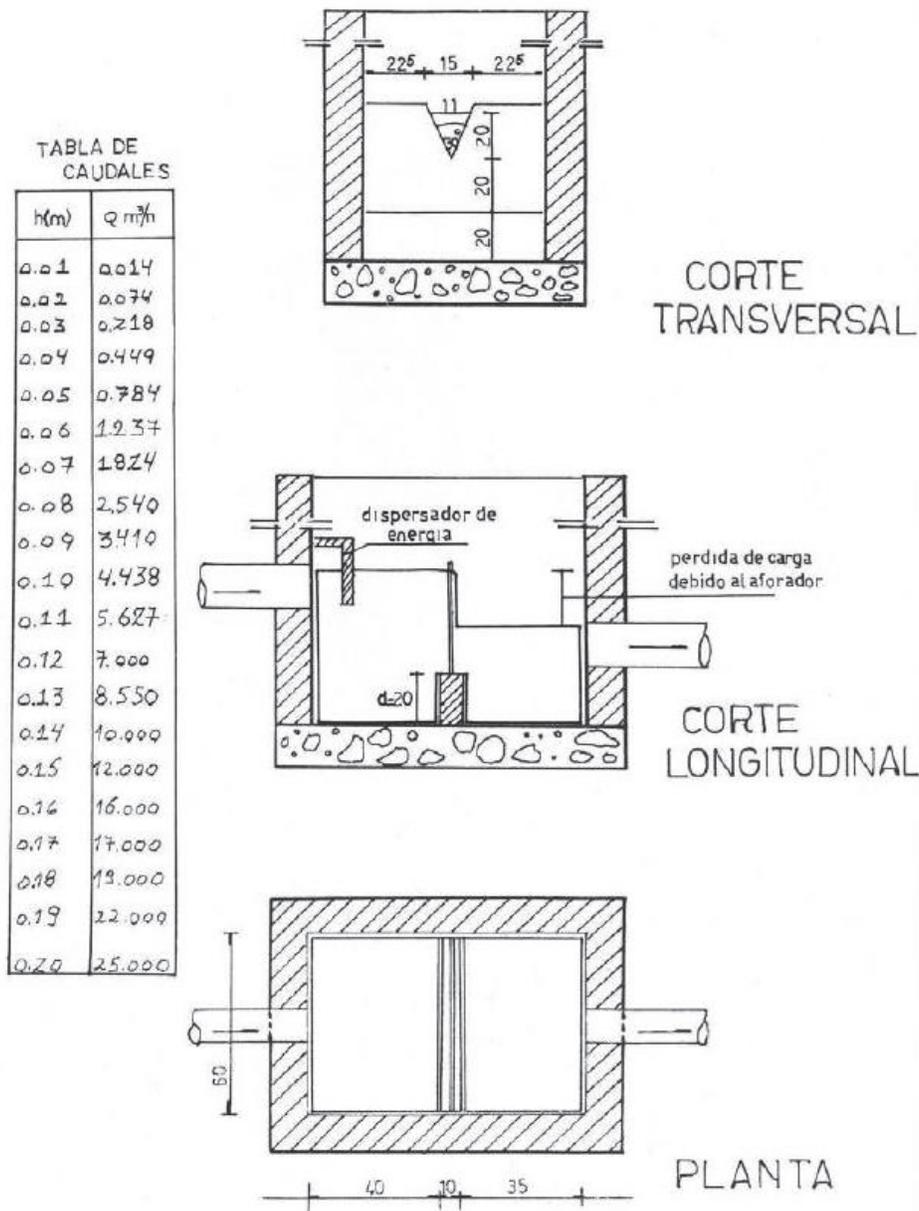


Figura 40: Cámara de extracción de muestras y medición de caudales hasta 25 m³/h. Ref.: [84].

Memoria de cálculo: Sistema de tratamiento de lodos

Tratamiento de lodos primarios con cromo

Espesador

Los barros generados en el sedimentador primario de la línea de curtido (S1) ingresan a un espesador (ECr) a razón de 37.50 m³/d ($Q_{in_{ECr}}$), donde se los concentra graviméricamente. La fracción espesada prosigue a otra unidad de tratamiento, mientras que el sobrenadante se lo recircula al ecualizador primario de la línea de curtido y recurtido (ver Figura 16).

Balance de sólidos y de caudales

El espesador de lodos se diseñó con una eficiencia de captura de sólidos del **90%** (CS_{ECr}) y con un porcentaje de sólidos secos en el concentrado del **6%** (SS_{ECr}), encontrándose ambos dentro del rango característico para lodos primarios espesados de 85-92% y 4-8%, respectivamente [110] [111]. En base a estos factores se realizó un balance de sólidos y de caudales en la unidad, el cual también consideró la corriente de salida del sedimentador primario (S1) (ver Figura 30 y Figura 41). Las expresiones resultantes, fueron las siguientes:

$$[\text{Ec. 131}] \quad Q_{S_{ECr}} = Q_{in_{ECr}} - Q_{b_{ECr}} \quad [\text{Ec. 132}] \quad Q_{b_{ECr}} = \frac{Q_{in_{ECr}} * SST_{in_{ECr}} * (CS_{ECr}/100\%)}{SST_{b_{ECr}}}$$

$$[\text{Ec. 133}] \quad SST_{in_{ECr}} = (Q_{in_{S1}} * SST_{in_{S1}} - Q_{S_{S1}} * SST_{S_{S1}}) / Q_{in_{ECr}}$$

$$[\text{Ec. 134}] \quad SST_{b_{ECr}} = \frac{SS_{ECr}}{100\%} * \rho_{b_{ECr}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \quad [\text{Ec. 135}] \quad SST_{S_{ECr}} = \frac{Q_{in_{ECr}} * SST_{in_{ECr}} * (1 - CS_{ECr}/100\%)}{Q_{S_{ECr}}}$$

Donde:

- $Q_{S_{ECr}}$ [m³/d]: Caudal de sobrenadante, egresando del ECr - **35.42 m³/d**.
- $Q_{b_{ECr}}$ [m³/d]: Caudal de barros espesados, egresando del ECr - **2.08 m³/d**.
- $SST_{in_{ECr}}$ [g_{SST}/m³]: SST en la corriente de lodos ingresando al ECr - **3724 g_{SST}/m³**.
- $SST_{b_{ECr}}$ [g_{SST}/m³]: SST en la corriente de lodos espesados - **60480 g_{SST}/m³**.
- $SST_{S_{ECr}}$ [g_{SST}/m³]: SST en el sobrenadante, saliendo del ECr - **394 g_{SST}/m³**.
- CS_{ECr} [%]: Eficiencia de captura de sólidos de ECr, tomado de ref. [111] - 90%.
- SS_{ECr} [%]: Porcentaje de sólidos secos en el concentrado, tomado de ref. [111] - 6%.
- $\rho_{b_{ECr}}$ [kg/m³]: Densidad de los barros espesados, tomado de ref. [111] - 1008 kg/m³.
- $Q_{in_{ECr}}$ [m³/d]: Caudal de barros ingresando a la unidad - 37.50 m³/d.
- $Q_{in_{S1}}$ [m³/h]: Caudal de efluente ingresando al S1 de la línea de curtido - 7.81 m³/h.
- $Q_{S_{S1}}$ [m³/h]: Caudal de clarificado, saliendo del S1 de la línea de curtido - 6.25 m³/h.
- $SST_{in_{S1}}$ [g_{SST}/m³]: Conc. de SST ingresando al S1 (ver Tabla 31) - 980 g_{SST}/m³.

- SST_{S1} [g_{SST}/m^3]: Conc. de SST en el clarificado del S1 (ver Tabla 31) - $294 g_{SST}/m^3$.

Tabla 51: Resumen del balance de masas y caudales realizado sobre el espesador ECr.

Parámetro	Entrada	Sobrenadante	Espesados
Caudal (m^3/d)	37.50	35.42	2.08
SST (g_{SST}/m^3)	37254	394	60480

Zona de entrada

El espesador se proyectó con sección circular, tal que los barros ingresen desde el centro y atraviesen radialmente la unidad. Se utilizó una placa perforada cilíndrica como estructura de entrada, de **0.20 m** de diámetro ($D_{pp_{ECr}}$) y **0.50 m** de altura ($H_{pp_{ECr}}$), ubicada a 0.50 m respecto del tirante (aprox. $1/6 H_{esp_{ECr}}$) [8]. Dicha placa se diseñó con **18 orificios** ($N_{or_{ECr}}$), de **3.00 cm** de diámetro ($D_{or_{ECr}}$), equiespaciados en 3 filas de 6 columnas cada una.

Al igual que en el caso del sedimentador secundario, se utilizaron las expresiones [Ec. 36] y [Ec. 37] para verificar que el gradiente de velocidad del barro ingresando al espesador respete el umbral recomendado de $20.0 s^{-1}$ [8] [109]. Así, reemplazando el diámetro y el número de orificios por los valores $N_{or_{ECr}}$ y $D_{or_{ECr}}$, considerando un coeficiente de rugosidad para metal liso de 0.010, y usando como caudal de ingreso $Q_{in_{ECr}}$, se obtuvo una velocidad de ingreso de barros de **0.034 m/s** ($v_{or_{ECr}}$) y un gradiente de velocidad de **5.2 s^{-1}** ($G_{v_{or_{ECr}}}$).

Para disminuir la energía cinética de la corriente ingresando al ECr, se plantea incorporar un cilindro deflector, concéntrico a la estructura de entrada. Su profundidad sumergida se estableció en **1.50 m** ($H_{cd_{ECr}}$) y su diámetro en **1.00 m** ($D_{cd_{ECr}}$). Este último valor resulta compatible con el criterio presentado en las expresiones [Ec. 119], [Ec. 120] y [Ec. 121].

Zona de espesamiento

La zona de espesamiento se diseñó con un diámetro de **1.70 m** ($D_{esp_{ECr}}$), una profundidad útil de **3.00 m** ($H_{esp_{ECr}}$), y una revancha de **0.20 m** (Rev_{ECr}). En base a estas dimensiones, se verificó que la carga superficial ($C_{sup_{ECr}}$) y la carga de sólidos ($C_{sol_{ECr}}$) resultantes respeten el rango admisible reportado en bibliografía para un proceso de espesamiento de lodos primarios, de 20-30 $m^3/d.m^2$ y 90-150 $kg_{SST}/d.m^2$ respectivamente [110] [111]:

$$[Ec. 136] \quad C_{sup_{ECr}} = (Q_{in_{ECr}} * 4) / (\pi * [Desp_{ECr}^2 - Dcd_{ECr}^2])$$

$$[Ec. 137] \quad C_{sol_{ECr}} = \left(\frac{1 kg}{1000 g} * Q_{in_{ECr}} * SST_{in_{ECr}} * 4 \right) / (\pi * [Desp_{ECr}^2 - Dcd_{ECr}^2])$$

Donde:

- $C_{sup_{ECr}}$ [$m^3/d.m^2$]: Carga superficial aplicada - **25.3 $m^3/d.m^2$** .
- $C_{sol_{ECr}}$ [$kg_{SST}/h.m^2$]: Carga de sólidos aplicada - **94.1 $kg_{SST}/h.m^2$** .
- $Q_{in_{ECr}}$ [m^3/d]: Caudal de barros ingresando a la unidad - 37.50 m^3/d .
- $Desp_{ECr}$ [m]: Diámetro de la zona de espesamiento - 1.70 m.
- $D_{cd_{ECr}}$ [m]: Diámetro del cilindro deflector, localizado en el ingreso del ECr - 1.00 m.
- $SST_{in_{ECr}}$ [g_{SST}/m^3]: SST en la corriente de lodos ingresando al ECr - 3724 g_{SST}/m^3 .

Zona de salida

Se plantea la instalación de una pantalla deflectora, periférica a la zona de espesamiento, para prevenir el arrastre de material flotante junto con el sobrenadante. El diámetro del deflector se estableció en **1.70 m** ($D_{dp_{ECr}}$) y la profundidad sumergida en **0.50 m** ($H_{dp_{ECr}}$). Se concibió un espacio de 10 cm entre el deflector y la estructura de salida de la unidad, resultando en un diámetro total para la unidad de **1.90 m** ($D_{tot_{ECr}}$).

La salida del sobrenadante ocurre a través de **10** vertederos triangulares tipo Thompson, ubicados sobre la pared perimetral de la unidad (ver Figura 28). Los mismos se diseñaron con una separación de **36°**, una apertura de **90°** ($\alpha_{vt_{ECr}}$), un ancho de **6.0 cm** ($A_{vt_{ECr}}$), y una altura de **10.0 cm** ($H_{vt_{ECr}}$). El tramo en forma de "V" se obtuvo por trigonometría, resultando en **3.0 cm** de altura ($H_{vtv_{ECr}}$). La distancia entre vertederos ($d_{vt_{ECr}}$) se calculó con la misma expresión que para el caso del sistema de flotación DAF, [Ec. 64], resultando en **53.7 cm**.

Una vez definidas las características de la estructura de salida, se verificó que el caudal recolectado por metro lineal ($Q_{ad_{ECr}}$) respete el límite admisible reportado en bibliografía de 6.5 $m^3/h.m$, y que el tirante sobre el vértice de los vertederos ($h_{vt_{ECr}}$) permita una revancha de al menos 7.0 cm [24] [36]. Las expresiones utilizadas fueron las mismas que para el sedimentador primario, [Ec. 47] y [Ec. 48], contemplando un sobrenadante de 1.48 m^3/h ($Q_{s_{ECr}}$) y reemplazando el término $Ased_{s1}$ por el perímetro de la unidad (5.97 m). Los resultados obtenidos, fueron **$Q_{ad_{ECr}}$: 0.2 $m^3/h.m$ - $h_{vt_{ECr}}$: 1.5 cm**.

El sobrenadante es recolectado en dos canaletas especulares, de sección cuadrada con **10.0 cm** de lado ($L_{cta_{ECr}}$), las cuales recorren el perímetro de la unidad y culminan en un mismo punto de salida. Utilizando la misma expresión que para el sistema de flotación DAF, [Ec. 49], se verificó que el tirante en la estructura de recolección asegure una revancha de al menos 5.0 cm [24]. Así, considerando $L_{cta_{ECr}}$ y $Q_{s_{ECr}}$, se obtuvo un tirante máximo en cada canaleta de **2.5 cm** ($h_{om_{ECr}}$).

Zona de lodos espesados

El fondo de la unidad se diseñó con geometría de cono truncado, tal que actúe como tolva para la recepción del lodo espesado. La base se dimensionó con un diámetro de **30 cm** ($D_{tolva_{ECr}}$) y se localizó en el centro de la unidad, a una profundidad de **1.00 m** respecto a la zona de espesamiento ($H_{tolva_{ECr}}$). Utilizando relaciones trigonométricas (ver [Ec. 66] del sistema de flotación DAF), se obtuvo una pendiente para la tolva de **51°** ($\theta_{b_{ECr}}$), la cual verifica el valor bibliográfico mínimo de 50° [24].

Sistema de extracción de barros espesados

Los lodos espesados son dirigidos por gravedad hasta la base de la tolva, donde luego son impulsados a la siguiente unidad de tratamiento mediante una bomba de succión inundada **EDDY Pump HD1K**, operando a un caudal igual a $Q_{b_{ECr}}$ (2.08 m³/d) (ver Figura Anexo 34). La cañería de descarga se concibió con un diámetro de **5.08 cm** (2") ($D_{b_{ECr}}$), el cual es compatible con las dimensiones de la tolva y la sección de salida de la bomba elegida.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 52: Espesador para la línea de tratamiento de lodos con cromo.

Zona de entrada		
Estructura de entrada		Placa perforada cilíndrica, ubicada a 0.50 m del tirante del ECr, y deflector concéntrico
Diámetro y altura sumergida de placa perforada (m)	$D_{pp_{ECr}} - H_{pp_{ECr}}$	0.20 - 0.50 (totalmente sumergida)
Número y diámetro de orificios (cm)	$N_{or_{ECr}} - D_{or_{ECr}}$	18 orif. - 3.00
Diámetro y altura sumergida de cilindro deflector (m)	$D_{cd_{ECr}} - H_{cd_{ECr}}$	1.00 - 1.50
Zona de espesamiento		
Diámetro total espesador (m)	$D_{tot_{ECr}}$	1.90
Diámetro zona de espesamiento (m)	$D_{esp_{ECr}}$	1.70
Profundidad zona de espesamiento (m)	$H_{esp_{ECr}}$	3.00
Revancha espesador (m)	$Re_{v_{ECr}}$	0.20
Zona de salida		
Estructura de retención del material flotante		Pantalla deflectora
Diámetro pantalla deflectora (m)	$D_{pd_{ECr}}$	1.70
Profundidad sumergida pantalla deflectora (m)	$H_{pd_{ECr}}$	0.50
Estructura de salida		10 vertederos Thompson equiespaciados
Ángulo de apertura (°)	$\alpha_{vt_{ECr}}$	90
Alto de vertedero (total - tramo en "V") (cm)	$H_{vt_{ECr}} - H_{vtv_{ECr}}$	10.0 - 3.0
Revancha en vertederos (cm)	$Re_{vvt_{ECr}}$	8.5
Ancho y distancia entre vertederos (cm)	$Av_{t_{ECr}} - dv_{t_{ECr}}$	6.0 - 53.7

Estructura de recolección		2 canaletas de sección cuadrada
Longitud de lado de canaleta (cm)	$L_{cta_{ECr}}$	10.0
Revancha en canaleta (cm)	$Rev_{cta_{ECr}}$	7.5
Zona de lodos espesados		
Estructura de la zona de lodos espesados		Tolva con forma de cono truncado
Pendiente de la tolva (°)	$\theta_{b_{ECr}}$	51
Diámetro de la base de la tolva (cm)	$D_{tolva_{ECr}}$	30
Profundidad de tolva, respecto a zona de esp. (m)	$H_{tolva_{ECr}}$	1.00
Sistema de recolección de barro espesados		
Estructura de recolección de lodos espesados		Conductos de PVC
Diámetro de cañerías de recolección de lodos (cm)	$D_{b_{ECr}}$	5.08 (2")
Marca y modelo de bomba de succión		EDDY Pump - HD1K
Caudal de operación (m ³ /d)	$Q_{b_{ECr}}$	2.08

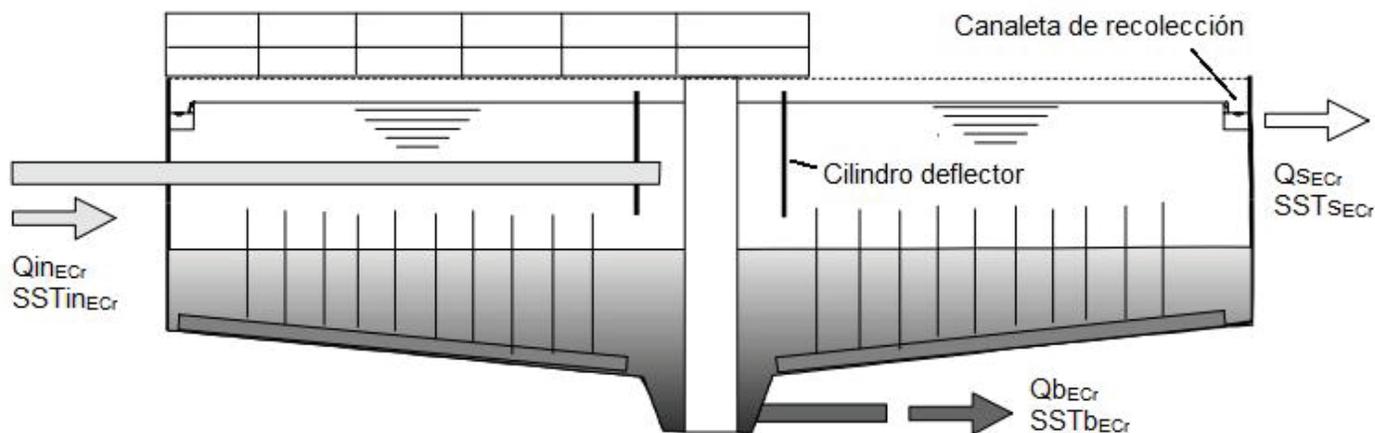


Figura 41: Esquema de espesador. Ref.: [111].

Filtro prensa

Los barro provenientes del espesador son deshidratados en un filtro prensa (FCr), a razón de 2.08 m³/d ($Q_{in_{FCr}}$) y con una concentración de entrada de SST igual a 60.5 kg_{SST}/m³ ($SST_{in_{FCr}}$). El sobrenadante es luego recirculado al equalizador primario de la línea de curtido y recurtido, mientras que los lodos son enviados a disposición final (ver Figura 16).

Debido a su alto contenido de cromo trivalente y al riesgo que supone su oxidación a cromo hexavalente, los barro deshidratados de la línea deben gestionarse y disponerse como un residuo especial (clase Y18) [39]. Siguiendo lo establecido en la Ley provincial N° 11.720, la empresa *Encuerado* debe entonces procurar una adecuada separación e identificación de los lodos a disponer, para luego entregarlos a un transportista inscripto en el Registro

Provincial de Generadores y Operadores de Residuos Especiales (Rs. N° 578), que traslade dichos desechos a una planta de tratamiento y disposición habilitada para tal fin [37].

Nota: Alternativamente, la empresa podría contar con un sistema de recuperación del cromo contenido en los barros deshidratados, reduciendo e incluso evitando la necesidad de disponer de los mismos como desechos especiales. Sin embargo, la evaluación y diseño de dicho sistema escapa el alcance del presente Proyecto Final Integrador, quedando abierta la posibilidad como una oportunidad de mejora para la curtiembre *Encuerado*.

Balance de sólidos y de caudales

El filtro prensa se concibió con una eficiencia de captura de sólidos del **90%** (CS_{FCr}) y con un porcentaje de sólidos secos en el concentrado del **30%** (SS_{FCr}), encontrándose ambos dentro del rango característico para lodos deshidratados de 90-95% y 20-40%, respectivamente [110] [111]. En base a estos factores se realizó un balance de sólidos y de caudales en la unidad (ver Figura 42), cuyas expresiones se presentan a continuación:

[Ec. 138] $Q_{S_{FCr}} = Q_{in_{FCr}} - Q_{b_{FCr}}$

[Ec. 139] $Q_{b_{FCr}} = \left(Q_{in_{FCr}} * SST_{in_{FCr}} * \frac{CS_{FCr}}{100\%} \right) / (SST_{b_{FCr}})$

[Ec. 140] $SST_{b_{FCr}} = \frac{SS_{FCr}}{100\%} * \rho_{b_{FCr}}$

[Ec. 141] $SST_{S_{FCr}} = (Q_{in_{FCr}} * SST_{in_{FCr}}) * \left(1 - \frac{CS_{FCr}}{100\%} \right) / (Q_{S_{FCr}})$

Donde:

- $Q_{S_{FCr}}$ [m^3/d]: Caudal de sobrenadante, egresando del filtro prensa - **1.73 m^3/d** .
- $Q_{b_{FCr}}$ [m^3/d]: Volumen diario de barros deshidratados, generados en el filtro prensa (enviados a disposición final) - **0.35 m^3/d** .
- $SST_{b_{FCr}}$ [kg_{SST}/m^3]: SST en la corriente de lodos deshidratados - **322.5 kg_{SST}/m^3** .
- $SST_{S_{FCr}}$ [kg_{SST}/m^3]: SST en el sobrenadante, saliendo del filtro prensa - **7.3 kg_{SST}/m^3** .
- CS_{FCr} [%]: Eficiencia de captura de sólidos del filtro prensa (ref. [111]) - 90%.
- SS_{FCr} [%]: Porcentaje de sólidos secos en el deshidratado (ref. [111]) - 30%.
- $\rho_{b_{FCr}}$ [kg/m^3]: Densidad de los barros deshidratados (ref. [111]) - 1075 kg/m^3 .
- $Q_{in_{FCr}}$ [m^3/d]: Caudal de barros ingresando a la unidad - 2.08 m^3/d .
- $SST_{in_{FCr}}$ [kg_{SST}/m^3]: SST en la corriente de lodos ingresando al FCr - 60.5 kg_{SST}/m^3 .

Tabla 53: Resumen del balance de masas y caudales realizado sobre el filtro prensa FCr.

Parámetro	Entrada	Sobrenadante	Deshidratados
Caudal (m^3/d)	2.08	1.73	0.35
SST (kg_{SST}/m^3)	60.5	7.3	322.5

Selección del filtro prensa

Para lograr la deshidratación de los barros, se plantea la instalación de un filtro prensa **DIEMME KE 500** (ver Figura Anexo 35). El modelo seleccionado posee un sistema de cierre manual, cuenta con la posibilidad de instalar entre 15 y 60 placas, y su presión de trabajo es de 12 a 30 atm. La duración de cada ciclo de operación del filtro, se calculó como [70]:

$$[\text{Ec. 142}] \quad t_{c_{FCr}} = t_{nf_{FCr}} + t_{f_{FCr}}$$

$$[\text{Ec. 143}] \quad t_{f_{FCr}} = \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} * V_{tta_{FCr}} * \rho_{b_{FCr}} \right) / (SST_{b_{FCr}} * Q_{b_{FCr}})$$

Donde:

- $t_{c_{FCr}}$ [h]: Duración de cada ciclo de operación del filtro prensa - **35.2 h**.
- $t_{f_{FCr}}$ [h]: Tiempo requerido para la filtración de los barros - **34.2 h**.
- $t_{nf_{FCr}}$ [h]: Tiempo requerido para la descarga, limpieza y llenado del filtro prensa (adoptado de ref. [70]) - 1.0 h.
- $V_{tta_{FCr}}$ [m³]: Volumen admisible de torta dentro del filtro prensa, contemplando 36 placas instaladas, reportado por el proveedor (ver Figura Anexo 35) - 0.15 m³.
- $\rho_{b_{FCr}}$ [kg/m³]: Densidad de los barros deshidratados (ref. [111]) - 1075 kg/m³.
- $SST_{b_{FCr}}$ [kg_{SST}/m³]: SST en la corriente de lodos deshidratados - 322.5 kg_{SST}/m³.
- $Q_{b_{FCr}}$ [m³/d]: Volumen diario de barros deshidratados, generados en el filtro prensa (enviados a disposición final) - 0.35 m³/d.

Se contempló la adquisición de una unidad adicional, que actúe como respaldo y permita una alternancia periódica de los equipos en uso.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 54: Filtro prensa para la línea de tratamiento de lodos con cromo.

Filtro prensa		
Marca y modelo		DIEMME - KE 500
Presión de trabajo (atm)	P_{FCr}	12 a 30
Número de placas	$N_{p_{FCr}}$	36 (15 a 60)
Volumen de torta (dm ³)	$V_{tta_{FCr}}$	150 (60 a 250)
Ciclo de operación (h)	$t_{c_{FCr}}$	35.2

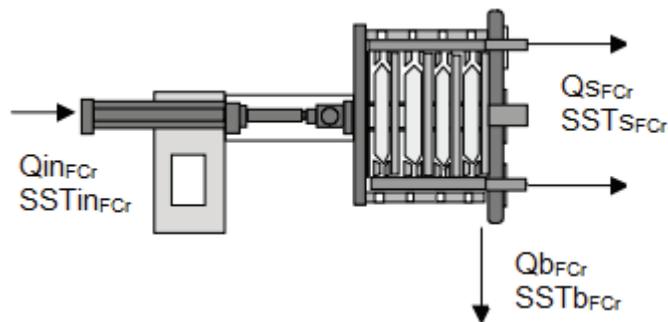


Figura 42: Esquema de filtro prensa. Ref.: [111].

Tratamiento de lodos mixtos sin contenido de cromo

Espesador

Los barros del sistema de tratamiento biológico son dirigidos a un espesador (EM), donde se los concentra gravimétricamente y se los acondiciona para su ingreso a una posterior unidad de digestión aeróbica. Por su parte, el sobrenadante separado es recirculado a la cámara de partición (CP) de la línea de tratamiento secundario (ver Figura 16).

El caudal de entrada a la unidad se consideró igual a la purga del sedimentador secundario (S2), de 23.52 m³/d en verano (Q_{inEM-V}) y 18.74 m³/d en invierno (Q_{inEM-I}).

Balance de sólidos y de caudales

Puesto que el sistema de extracción de barros del sedimentador secundario impulsa los lodos recolectados desde la base de su tolva (ver Figura 39), la concentración de SST en la corriente de purga de la unidad coincide con la de la corriente siendo recirculada hacia la cámara anóxica (SST_{pT2}). Teniendo esto en cuenta, pudo estimarse la concentración de SST ingresando al espesador (SST_{inEM}) con la expresión a continuación:

$$[\text{Ec. 144}] \quad SST_{inEM} = X_{pT2} / R'_{VT}$$

Donde:

- SST_{inEM} [g_{SST}/m³]: Concentración de SST en la corriente de lodos ingresando al EM - V: **7000 g_{SST}/m³** - I: **8600 g_{SST}/m³**.
- X_{pT2} [g_{SSV}/m³]: Concentración de microorganismos activos en la corriente de retorno, proveniente del sedimentador secundario - V: 5600 g_{SSV}/m³ - I: 6880 g_{SSV}/m³.
- R'_{VT} [g_{SSV}/g_{SST}]: Relación entre SSV y SST (ref. [110] [111]) - 0.80 g_{SSV}/g_{SST}.

Una vez calculado SST_{inEM}, se realizó un balance de sólidos y caudales en la unidad EM, cuyas expresiones resultantes coinciden con las del balance realizado para el espesador de barros con cromo (ECr): [Ec. 131], [Ec. 132], [Ec. 134] y [Ec. 135]. Es así que, utilizando los valores establecidos para SST_{inEM} y Q_{inEM}, y considerando una eficiencia de captura de sólidos del **80%** (C_{SEM}), un porcentaje de sólidos secos en el concentrado del **3%** (SS_{EM}) y una densidad para los barros espesados de **1006 kg/m³** (ρ_{bEM}) (valores dentro del rango característico hallado para lodos secundarios, de 75-85%, 2-7% y 1003-1010 kg/m³, en orden [110] [111]), se obtuvo el caudal y SST del sobrenadante y de la corriente de espesados, tanto para la estación de verano como de invierno. Los resultados alcanzados, se presentan en la Tabla 55 a continuación:

Tabla 55: Balance de masa y caudales realizado sobre el espesador EM, considerando una eficiencia de captura de sólidos del 80%, un porcentaje de sólidos en el concentrado del 3%, y una densidad para los barros espesados de 1006 kg/m³.

		Verano	Invierno
Caudal ingresando al EM (m ³ /d)	$Q_{inEM-V} - Q_{inEM-I}$	23.52	18.74
Concentración de SST en ingreso (g _{SST} /m ³)	$SST_{inEM-V} - SST_{inEM-I}$	7000	8600
Caudal de sobrenadante (m ³ /d)	$Q_{SEM-V} - Q_{SEM-I}$	19.15	14.47
Concentración de SST en sobrenadante (g _{SST} /m ³)	$SST_{SEM-V} - SST_{SEM-I}$	2228	1719
Caudal de lodos espesados (m ³ /d)	$Q_{bEM-V} - Q_{bEM-I}$	4.36	4.27
Concentración de SST en espesado (g _{SST} /m ³)	$SST_{bEM-V} - SST_{bEM-I}$	30180	30180

Dimensionamiento del espesador

El procedimiento utilizado para dimensionar el espesador de la línea de lodos mixtos (EM) fue el mismo que el para el espesador de la línea de lodos con cromo (ECr). Como única diferencia, se menciona el uso de un rango admisible de 20-40 kg_{SST}/d.m² para la carga de sólidos, vinculado al procesamiento de lodos biológicos [110] [111]. Teniendo en cuenta lo expuesto, en la presente sección no se desarrollan los cálculos realizados, sino que se presentan directamente las dimensiones obtenidas para la unidad (ver Tabla 56).

Tabla 56: Espesador para la línea de tratamiento de lodos mixtos.

		Verano	Invierno
Zona de entrada			
Estructura de entrada		Placa perforada cilíndrica, ubicada a 0.50 m del tirante del ECr, y deflector concéntrico	
Diámetro placa perforada (m)	D_{ppEM}	0.20	
Altura placa perforada (totalmente sumergida) (m)	H_{ppEM}	0.50	
Número y diámetro de orificios (cm)	$N_{orEM} - D_{orEM}$	18 orif. - 3.00	
Diámetro cilindro deflector (m)	D_{cdEM}	1.00	
Altura sumergida cilindro deflector (m)	H_{cdEM}	1.50	
Zona de espesamiento			
Diámetro total espesador (m)	D_{totEM}	2.80	
Diámetro zona de espesamiento (m)	D_{espEM}	2.60	
Profundidad zona de espesamiento (m)	H_{espEM}	3.00	
Revancha espesador (m)	Re_{vEM}	0.20	
Carga de sólidos aplicada (kg _{SST} /h.m ²)	C_{sOLEM}	36.39	35.63
Zona de salida			
Estructura de retención del material flotante		Pantalla deflectora	
Diámetro pantalla deflectora (m)	D_{pdEM}	2.60	
Profundidad sumergida pantalla deflectora (m)	H_{pdEM}	0.50	
Estructura de salida		12 vertederos Thompson equiespaciados	

		Verano	Invierno
Ángulo de apertura (°)	α_{vtEM}	60	
Alto de vertedero (total - tramo en "V") (cm)	$H_{vtEM} - H_{vtvEM}$	10.0 - 3.5	
Ancho y distancia entre vertederos (cm)	$A_{vtEM} - d_{vtEM}$	4.0 - 69.3	
Revancha en vertederos (cm)	Rev_{vtEM}	8.6	8.8
Estructura de recolección		2 canaletas de sección cuadrada	
Longitud de lado de canaleta (cm)	L_{ctaEM}	10.0	
Revancha en canaleta (cm)	Rev_{ctaEM}	8.3	8.6
Zona de lodos espesados			
Estructura de la zona de lodos espesados		Tolva con forma de cono truncado	
Pendiente de la tolva (°)	θ_{bEM}	50	
Diámetro de la base de la tolva (cm)	$D_{tolvaEM}$	30	
Profundidad de tolva, respecto a zona de esp. (m)	$H_{tolvaEM}$	1.50	
Sistema de recolección de barro espesados			
Estructura de recolección de lodos espesados		Conductos de PVC	
Diámetro de cañerías de recolección de lodos (cm)	D_{bEM}	5.08 (2")	
Marca y modelo de bomba de succión		EDDY Pump - HD1K	
Caudal de operación (m ³ /d)	Q_{bEM}	4.36	4.27

Digestor aeróbico

El lodo espesado prosigue a un digestor aeróbico (DA), donde los microorganismos presentes son forzados a un estado de decaimiento endógeno por limitación de sustrato. El caudal de ingreso a la unidad coincide con Q_{bEM} : 4.36 m³/d en verano (Q_{inDA-V}) y 4.27 m³/d en invierno (Q_{inDA-I}). La concentración de SST en la entrada, se extrajo de la Tabla 55.

Condición de borde: Temperatura del efluente

A partir de un relevamiento bibliográfico, se obtuvo la constante cinética que modela el proceso de decaimiento endógeno que ocurre dentro del digestor aeróbico (ver Tabla 57). Al igual que en el caso del reactor LA y CA, dicha constante fue corregida en función de la temperatura del barro digerido, mediante la ecuación [Ec. 77]. La temperatura considerada fue de **19°C** para invierno (T_{b-I}) y **23°C** para verano (T_{b-V}), las mismas que para el efluente líquido ingresando al sistema de tratamiento secundario.

Tabla 57: Constante cinética (K_T) y coeficiente de temperatura (θ) usados en el diseño del digestor DA.

		$K_{25^\circ C}$	θ	$K_{19^\circ C (I)}$	$K_{23^\circ C (V)}$	Ref.
Constante de reacción global (d ⁻¹)	K_{rDA}	0.14	1.11	0.08	0.11	[56]

Volumen del digestor aeróbico

Se diseñó el digestor DA con una geometría rectangular, en la que los lodos ingresan desde un extremo de la unidad y egresan por el extremo contrario. La longitud de la cámara se estableció en **5.5 m** (L_{DA}), el ancho en **3.0 m** (A_{DA}) y el tirante en **4.2 m** (H_{DA}), dando como resultado un volumen útil de **69.3 m³** (V_{DA}). En base a estas dimensiones, se verificó que la carga de sólidos ($Csol_{DA}$) y el tiempo de retención hidráulico (TR_{DA}) se encuentren dentro del rango admisible de 1.60-4.80 kg_{SST}/m³.d y 15-20 días, respectivamente, hallados en bibliografía para procesos de digestión aeróbica [56] [111]. Las expresiones usadas, fueron:

$$[Ec. 145] \quad Csol_{DA} = SSTin_{DA} * Qin_{DA}/V_{DA}$$

$$[Ec. 146] \quad TR_{DA} = V_{DA}/Qin_{DA}$$

Donde:

- $Csol_{DA}$ [kg_{SST}/m³.d]: Carga volumétrica de sólidos aplicada sobre la unidad (ver balance de caudales en Figura 44) - **V: 1.90 kg_{SST}/m³.d - I: 1.86 kg_{SST}/m³.d.**
- TR_{DA} [d]: Tiempo de retención hidráulico del digestor DA - **V: 15.9 d - I: 16.2 d.**
- $SSTin_{DA}$ [kg_{SST}/m³]: Concentración de SST en la corriente de lodos ingresando al digestor DA (ver Tabla 58) - **V/I: 30.2 kg_{SST}/m³.**
- Qin_{DA} [m³/d]: Caudal de barros ingresando a la unidad - **V: 4.36 m³/d - I: 4.27 m³/d.**
- V_{DA} [m³]: Volumen útil del digestor DA - **69.3 m³.**

Verificación del tiempo de retención de sólidos

Utilizando la expresión [Ec. 147], se verificó que el tiempo de retención de sólidos en el digestor (SRT_{DA}) sea suficiente para permitir las eficiencias de remoción de SSV propuestas en la Tabla 58 (45% en verano y 40% en invierno). El valor considerado como SRT mínimo, se estimó gráficamente a partir de la Figura 43 y contemplando las temperaturas T_{b-v} y T_{b-l} . El umbral obtenido, fue de **35 d** en verano ($SRT_{req_{DA-v}}$) y **24 d** en invierno ($SRT_{req_{DA-l}}$).

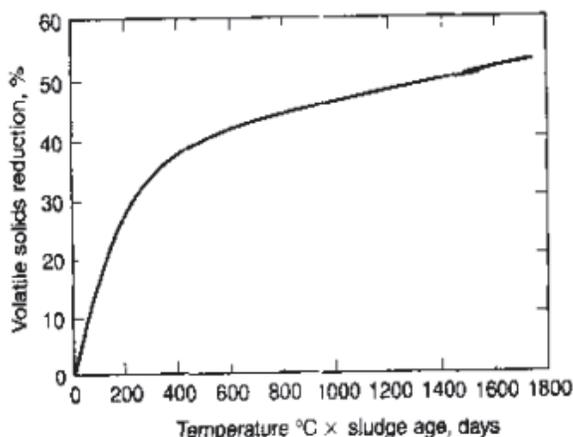


Figura 43: Reducción de SSV (%) en un digestor aeróbico, como función de la temperatura del lodo (°C) y el tiempo de retención de sólidos (d). Ref.: [56].

$$[\text{Ec. 147}] \quad SRT_{DA} = 1 / \left(\frac{Q_{inDA} * SST_{inDA}}{SST_{SDA} * V_{DA}} - K_{rDA} * \frac{SSV_{SDA}}{SST_{SDA}} \right)$$

Donde:

- SRT_{DA} [d]: Tiempo de retención de sólidos resultante en el DA - V: **49.9 d** - I: **26.7 d**.
- Q_{inDA} [m³/d]: Caudal de barros ingresando a la unidad - V: 4.36 m³/d - I: 4.27 m³/d.
- SST_{inDA} [kg_{SST}/m³]: Concentración de SST en la corriente de lodos ingresando al digestor DA (ver Tabla 58) - V/I: 30.2 kg_{SST}/m³.
- SST_{SDA} [kg_{SST}/m³]: Concentración de SST en la corriente de lodos egresando del digestor DA (ver Tabla 58) - V: 19.3 kg_{SST}/m³ - I: 20.5 kg_{SST}/m³.
- SSV_{SDA} [kg_{SSV}/m³]: Concentración de SSV en la corriente de lodos egresando del digestor DA (ver Tabla 58) - V: 13.3 kg_{SSV}/m³ - I: 14.5 kg_{SSV}/m³.
- V_{DA} [m³]: Volumen útil del digestor DA - 69.3 m³.
- K_{rDA} [d⁻¹]: Constante de reacción global (ver Tabla 57) - V: 0.11 d⁻¹ - I: 0.08 d⁻¹.

Sistema de mezcla y aireación

El digestor DA debe contar con un sistema de mezcla y aireación, capaz de brindar oxígeno suficiente para suplir la demanda de los microorganismos presentes. Dicho requerimiento de oxígeno, se calculó con la expresión a continuación [56] [111]:

$$[\text{Ec. 148}] \quad RO_{2DA} = (\Delta O_2 / \Delta SSV_{DA}) * (Q_{inDA} / 24 h) * (SSV_{inDA} - SSV_{SDA})$$

Donde:

- RO_{2DA} [kg_{O2}/h]: Requerimiento de O₂ en el DA - V: **4.54 kg_{O2}/h** - I: **3.95 kg_{O2}/h**.
- $\Delta O_2 / \Delta SSV_{DA}$ [kg_{O2}/kg_{SSV}]: Requerimiento específico de O₂, vinculado al proceso de estabilización de lodos secundarios en el DA (ref. [56] [111]) - V/I: 2.3 kg_{O2}/kg_{SSV}.
- Q_{inDA} [m³/d]: Caudal de barros ingresando a la unidad - V: 4.36 m³/d - I: 4.27 m³/d.
- SSV_{inDA} [kg_{SSV}/m³]: Concentración de SSV en la corriente de lodos ingresando al digestor DA (ver Tabla 58) – V/I: 24.1 kg_{SSV}/m³.
- SSV_{SDA} [kg_{SSV}/m³]: Concentración de SSV en la corriente de lodos egresando del digestor DA (ver Tabla 58) - V: 13.3 kg_{SSV}/m³ - I: 14.5 kg_{SSV}/m³.

Los dispositivos seleccionados para asegurar las condiciones de oxigenación en la unidad fueron difusores de burbuja gruesa **Repicky CB-300**, recomendados en bibliografía por su capacidad de mezcla y compatibilidad con una alta carga de SST (ver Figura Anexo 20) [56] [111]. La demanda de oxígeno en condiciones estandarizadas (SOR_{DA}) y el caudal de aire mínimo a ser entregado por dichos difusores (Q_{reqaDA}) se calcularon con las mismas

expresiones que para el reactor LA de la línea de tratamiento secundario, [Ec. 100] y [Ec. 101]. De esta forma, usando el requerimiento $RO_{2,DA}$ obtenido anteriormente, contemplando una eficiencia de transferencia de oxígeno de 2.2 %/m ($SOTE_{DA}$) (reportado por proveedor), y estableciendo un valor para el oxígeno disuelto de $1.5 \text{ g}_{O_2}/\text{m}^3$ (OD_{DA}) (valor dentro del rango hallado para digestores aeróbicos, de $1.0\text{-}2.0 \text{ g}_{O_2}/\text{m}^3$ [56] [111]), se obtuvo **SOR_{DA-V}: 12.18 kg_{O2}/h - SOR_{DA-I}: 8.75 kg_{O2}/h - Qreq_{a DA-V}: 470.7 Nm³/h - Qreq_{a DA-I}: 338.1 Nm³/h.**

En función de los valores obtenidos para $Q_{req a DA}$ y del rango de operación reportado por el proveedor ($3\text{-}25 \text{ Nm}^3/\text{h}$), se proyectó la instalación de **36 difusores** operando a un caudal de aire de **14.0 Nm³/h** durante el verano ($Q_{dif DA-V}$) y **10.0 Nm³/h** durante el invierno ($Q_{dif DA-I}$). La cantidad total de aire entregada resultó de $504 \text{ Nm}^3/\text{h}$ y $360 \text{ Nm}^3/\text{h}$, respectivamente, siendo en ambos casos mayor al caudal de aire $Q_{req a DA}$ calculado y verificando la potencia mínima requerida para la mezcla del efluente, de $40 \text{ dm}^3_{aire}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$ [111]:

$$[\text{Ec. 149}] P_{dif DA} = \left(N_{dif DA} * Q_{dif DA} * \frac{1000 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) / V_{DA}$$

Donde:

- $P_{dif DA}$ [$\text{dm}^3_{aire}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$]: Caudal de aire entregado por unidad de volumen del digestor, contando todos los difusores - **V: 121.2 dm³_{aire}/m³·min - I: 86.6 dm³_{aire}/m³·min.**
- $N_{dif DA}$: Cantidad de difusores instalados - 36 difusores.
- $Q_{dif DA}$ [Nm^3/h]: Caudal de operación de los difusores - V: $14.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ - I: $10.0 \text{ Nm}^3/\text{h}$.
- V_{DA} [m^3]: Volumen útil del digestor DA - 69.3 m^3 .

Para alimentar los 36 difusores de burbuja gruesa, se plantea la adquisición de **3 sopladores Repicky R500** (ver Figura Anexo 19). Se proyectó la operación simultánea de 2 sopladores durante el verano, a un caudal de aire de **252 Nm³/h**, una potencia de **6.9 HP** y **2748 rpm** cada uno. De manera similar, en invierno operarán 2 sopladores, a un caudal de **180 Nm³/h**, una potencia de **5.4 HP** y **2170 rpm**. Los equipos en uso se alternarán periódicamente.

Eficiencias de remoción

La concentración de SST en la corriente de entrada se extrajo de la Tabla 55. Luego, considerando la misma relación SSV-SST que para el espesador EM ($0.80 \text{ g}_{SSV}/\text{g}_{SST}$), se estimó la concentración de SSV en la corriente de entrada al DA (ver Tabla 58).

Con respecto a la eficiencia de remoción de SSV en el digestor DA, se adoptó un valor de 45% en verano y 40% en invierno, respetando en ambos casos el rango característico bibliográfico de 35-50%, y contemplando una proporcionalidad con la temperatura [56]

[111]. La eficiencia de remoción de SST se obtuvo luego, a partir de la diferencia entre la carga másica de SSV removida y la de SST ingresando en la unidad (ver Tabla 58).

Tabla 58: Caracterización del efluente ingresando y egresando al digestor aeróbico (DA).

	Parámetro	Entrada	Salida	Remoción
Verano	SSV (kg _{SSV} /m ³)	24.1	13.3	45 %
	SST (kg _{SST} /m ³)	30.2	19.3	36 %
Invierno	SSV (kg _{SSV} /m ³)	24.1	14.5	40 %
	SST (kg _{SST} /m ³)	30.2	20.5	32 %

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 59: Digestor para la línea de tratamiento de lodos mixtos.

		Verano	Invierno
Digestor aeróbico			
Longitud, ancho y profundidad total (m)	L _{DA} - A _{DA} - H _{tDA}	5.5 - 3.0 - 4.5	
Profundidad útil y revancha (m)	H _{DA} - Re _{VDA}	4.2 - 0.3	
Tiempo de retención hidráulico (d)	TR _{DA}	15.9	16.2
Tiempo de retención de sólidos (d)	SRT _{DA}	49.9	26.7
Carga de sólidos (kg _{SST} /m ³ .d)	Cs _{olDA}	1.90	1.86
Digestor aeróbico: Sistema de mezcla y aireación			
Descripción sistema de mezcla y aireación		Difusores de burbuja gruesa y sopladores	
Marca y modelo de difusores		Repicky - CB-300	
Número de difusores	N _{dif DA}	36	
Densidad de difusores (difusores/m ²)	ρ _{dif DA}	2.18 (Rango admisible: 0.50 a 3.00)	
Caudal de aire/difusor (Nm ³ /h)	Q _{dif DA}	14.0	10.0
Marca y modelo de sopladores		Repicky - R500	
Número de unidades	N _{sop DA}	3	
Número de unidades activas	N _{sop a DA}	2	2
Caudal de aire/soplador (Nm ³ /h)	Q _{sop DA}	252	180
Potencia/soplador (HP)	P _{sop DA}	6.9	5.4
Revoluciones del soplador (rpm)	RPM _{DA}	2748	2170

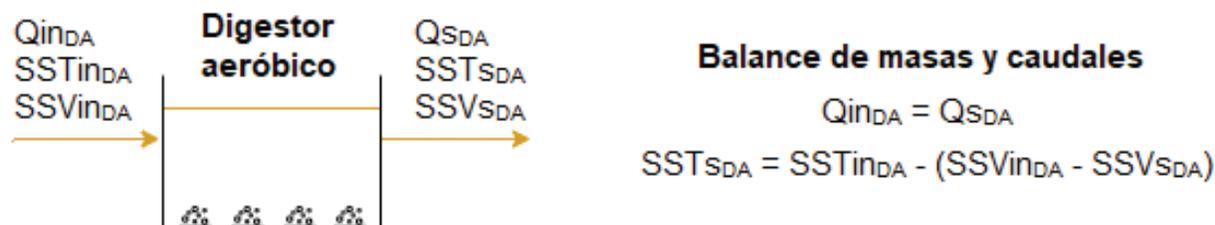


Figura 44: Balance de masas y caudales para el digestor aeróbico DA.

Filtro prensa

Los lodos estabilizados del digestor DA, así como también los lodos primarios del sistema DAF, son deshidratados conjuntamente en un filtro prensa (FM). El sobrenadante es luego recirculado a la cámara de partición (CP) de la línea de tratamiento secundario, mientras que los barros deshidratados son enviados a disposición final (ver Figura 16). El transporte y disposición de los lodos deben respetar los lineamientos de la Rs. nacional N° 410/18.

Balace de sólidos y de caudales

El filtro prensa se concibió con una eficiencia de captura de sólidos del **90%** (CS_{FM}) y con un porcentaje de sólidos secos en el concentrado del **20%** (SS_{FM}), respetando en ambos casos el rango bibliográfico hallado, de 90-95% y 20-40%, respectivamente [110] [111]. Se utilizó el mínimo valor posible para SS_{FM} , con el objetivo de considerar el efecto de dilución vinculado al ingreso de los barros no espesados del DAF. Teniendo en cuenta lo expuesto, se realizó un balance de sólidos y de caudales en el filtro prensa FM, tal como se presenta:

$$[\text{Ec. 150}] \quad Q_{in_{FM}} = Q_{S_{DA}} + Q_{b_{DAF}}$$

$$[\text{Ec. 151}] \quad Q_{S_{FM}} = Q_{in_{FM}} - Q_{b_{FM}}$$

$$[\text{Ec. 152}] \quad Q_{b_{FM}} = \frac{Q_{in_{FM}} * SST_{in_{FM}} * CS_{FM} / 100\%}{SST_{b_{FM}}}$$

$$[\text{Ec. 153}] \quad SST_{in_{FM}} = \frac{Q_{S_{DA}} * SST_{S_{DA}} + Q_{b_{DAF}} * SST_{b_{DAF}}}{Q_{in_{FM}}}$$

$$[\text{Ec. 154}] \quad SST_{b_{DAF}} = (Q_{in_{DAF}} * SST_{in_{DAF}} - Q_{S_{DAF}} * SST_{S_{DAF}}) / Q_{b_{DAF}}$$

$$[\text{Ec. 155}] \quad SST_{b_{FM}} = \frac{SS_{FM}}{100\%} * \rho_{b_{FM}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$[\text{Ec. 156}] \quad SST_{S_{FM}} = \frac{Q_{in_{FM}} * SST_{in_{FM}} * (1 - CS_{FM} / 100\%)}{Q_{S_{FM}}}$$

Donde:

- $Q_{in_{FM}}$ [m^3/d]: Caudal de barros ingresando al FP - **V: 6.36 m^3/d - I: 6.27 m^3/d .**
- $Q_{S_{FM}}$ [m^3/d]: Sobrenadante egresando del FP - **V: 5.96 m^3/d - I: 5.85 m^3/d .**
- $Q_{b_{FM}}$ [m^3/d]: Volumen diario de barros deshidratados, generados en el filtro prensa (enviados a disposición final) - **V: 0.41 m^3/d - V: 0.42 m^3/d .**
- $SST_{in_{FM}}$ [$\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$]: Concentración de SST en la corriente de lodos ingresando al filtro prensa - **V: 15.3 $\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$ - I: 16.1 $\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$.**
- $SST_{b_{DAF}}$ [$\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$]: Concentración de SST en la corriente de lodos egresando del sistema de flotación DAF - **V/I: 6.6 $\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$.**
- $SST_{b_{FM}}$ [$\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$]: SST en lodos deshidratados del FM - **V/I: 215.0 $\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$.**
- $SST_{S_{FM}}$ [$\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$]: SST en sobrenadante del FM - **V: 1.6 $\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$ - V: 1.7 $\text{kg}_{SST}/\text{m}^3$.**
- $Q_{S_{DA}}$ [m^3/d]: Caudal de barros egresando del DA - V: 4.36 m^3/d - I: 4.27 m^3/d .
- $Q_{b_{DAF}}$ [m^3/d]: Caudal de barros del sistema de flotación DAF - V/I: 2.00 m^3/d .
- $Q_{in_{DAF}}$ [m^3/d]: Caudal de efluente entrando al sistema DAF - V/I: 20.00 m^3/d .

- $Q_{S_{DAF}}$ [m^3/h]: Caudal de clarificado, saliendo del sistema DAF - V/I: $18.00 m^3/d$.
- $SST_{S_{DA}}$ [kg_{SST}/m^3]: Concentración de SST en la corriente de lodos egresando del digestor DA (ver Tabla 58) - V: $19.3 kg_{SST}/m^3$ - I: $20.5 kg_{SST}/m^3$.
- $SST_{in_{DAF}}$ [kg_{SST}/m^3]: SST en el ingreso al DAF (ver Tabla 40) - V/I: $0.80 kg_{SST}/m^3$.
- $SST_{S_{DAF}}$ [kg_{SST}/m^3]: SST en la salida del DAF (ver Tabla 40) - V/I: $0.16 kg_{SST}/m^3$.
- CS_{FM} [%]: Eficiencia de captura de sólidos del filtro prensa (ref. [111]) - 90%.
- SS_{FM} [%]: Porcentaje de sólidos secos en el deshidratado (ref. [111]) - 20%.
- pb_{FM} [kg/m^3]: Densidad de los barros deshidratados (ref. [111]) - $1075 kg/m^3$.

Tabla 60: Resumen del balance de masas y caudales realizado sobre el filtro prensa FM.

	Parámetro	Entrada	Sobrenadante	Deshidratados
Verano	Caudal (m^3/d)	6.36	5.96	0.41
	SST (kg_{SST}/m^3)	15.3	1.6	215.0
Invierno	Caudal (m^3/d)	6.27	5.85	0.42
	SST (kg_{SST}/m^3)	16.1	1.7	215.0

Selección del filtro prensa

Se plantea la instalación de un filtro prensa **DIEMME KE 500**, con la adquisición de una unidad adicional de respaldo, para deshidratar los barros provenientes del DA y del DAF. El modelo seleccionado posee un sistema de cierre manual, cuenta con la posibilidad de instalar entre 15 y 60 placas, y su presión de trabajo es de 12 a 30 atm (ver Figura Anexo 35). La duración de cada ciclo de operación se calculó con las mismas expresiones que para el filtro prensa de la línea de barros con cromo (FCr), [Ec. 142] y [Ec. 143]. El resultado obtenido fue de **44.1 h** en verano (t_{CFM-V}) y **42.7 h** en invierno (t_{CFM-I}).

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 61: Filtro prensa para la línea de tratamiento de lodos mixtos.

		Verano	Invierno
Filtro prensa			
Marca y modelo		DIEMME - KE 500	
Presión de trabajo (atm)	P_{FM}	12 a 30	
Número de placas	$N_{p_{FM}}$	36 (15 a 60)	
Volumen de torta (dm^3)	$V_{tta_{FM}}$	150 (60 a 250)	
Ciclo de operación (h)	t_{CFM}	44.1	42.7

Memoria de cálculo: Sistema de ventilación localizada

Captación y tratamiento de las emisiones vinculadas a la etapa de pulido

Las emisiones de material particulado (MP) vinculadas al pulido y cepillado del cuero son controladas con un sistema de ventilación localizada, el cual se compone por dos campanas de captación (una por pulidora), un sistema de conductos de transporte, un separador ciclónico, un ventilador de impulsión, y una chimenea de evacuación (ver Figura 17).

Campanas de captación

Para controlar el MP generado en ambas máquinas pulidoras, se buscó confinar y deprimir su abertura de trabajo (foco de generación del contaminante). Utilizando el cerramiento y conductos de aspiración que se presentan en la Figura 45, fue posible contener y conducir las emisiones de polvo, sin dificultar el proceso de cepillado [2] [72].

El caudal de aire a ser aspirado en cada campana ($Q_{a_{MP}}$) se obtuvo con la [Ec. 157]. Dicho cálculo contempló condiciones ambientales de 20°C y 1 atm, así como una velocidad de control en la abertura de trabajo de las pulidoras de **0.50 m/s** ($v_{c_{MP}}$), la cual respeta el rango de 0.25-1.00 m/s hallado para contaminantes dispersados en zonas con movimiento de aire bajo/moderado (suficiente para evitar el pasaje de MP al aire del ambiente laboral) [2] [72].

$$[\text{Ec. 157}] \quad Q_{a_{MP}} = (2 * A_{t_{pul}}) * v_{c_{MP}}$$

Donde:

- $Q_{a_{MP}}$ [m^3/s]: Caudal de aire a ser aspirado por cada campana - **0.56 m^3/s** .
- $A_{t_{pul}}$ [m^2]: Abertura de trabajo de las pulidoras (superficie estimada a partir de un modelo comercial, presentado en la Figura Anexo 36) - 0.56 m^2 .
- $v_{c_{MP}}$ [m/s]: Velocidad de control considerada, obtenida de ref. [2] [72] - 0.50 m/s .



Figura 45: Estructura de captación del MP, propuesta para las máquinas pulidoras instaladas en *Encuerado*. Ref.: [116]

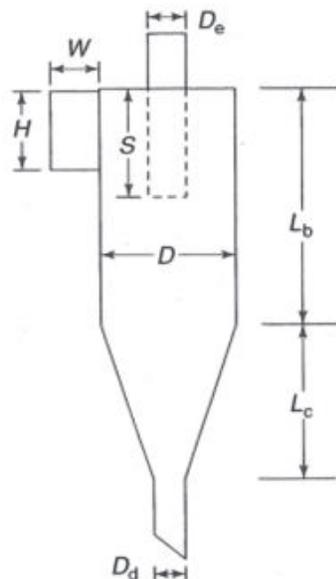
Unidad de tratamiento: Ciclón

El aire captado en ambas máquinas pulidoras es conducido a un separador ciclónico (SC), donde se segrega el MP por acción centrífuga y gravimétrica. La corriente de aire tratada es finalmente evacuada a la atmósfera por una chimenea (ver Figura 17).

Se consideró un caudal de entrada al SC igual a $1.13 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{inSC}), en condiciones de 20°C y 1 atm , equivalente a la suma del aire aspirado en las dos campanas propuestas para las pulidoras. Las características físicas del MP captado se tomaron de la Tabla 13 y Figura 12.

Dimensionamiento del ciclón

Se diseñó el ciclón SC con una geometría convencional, en la que el diámetro del cuerpo se estableció en **0.80 m** (D_{SC}). El resto de las dimensiones de la unidad se obtuvieron utilizando los factores de proporcionalidad presentados a continuación [32] [113]:



$$H_{SC}/D_{SC} = 0.50$$

$$W_{SC}/D_{SC} = 0.25$$

$$De_{sc}/D_{sc} = 0.50$$

$$0.600 < S_{SC}/D_{SC} < 0.625$$

$$1.75 < Lb_{SC}/D_{SC} < 2.00$$

$$Lc_{SC}/D_{SC} = 2.00$$

$$0.25 < Dd_{SC}/D_{SC} < 0.40$$

Figura 46: Proporciones de un separador ciclónico convencional, con entrada de aire tangencial. Ref.: [113].

Donde:

- H_{SC} [m]: Altura de la sección de entrada al ciclón - **0.40 m**.
- W_{SC} [m]: Ancho de la sección de entrada al ciclón - **0.20 m**.
- De_{sc} [m]: Diámetro del conducto de salida para gases (*vortex finder*) - **0.40 m**.
- S_{SC} [m]: Largo interno del conducto de salida para gases (*vortex finder*) - **0.50 m**.
- Lb_{SC} [m]: Longitud del cuerpo del ciclón - **1.60 m**.
- Lc_{SC} [m]: Longitud de la tolva del ciclón - **1.60 m**.
- Dd_{SC} [m]: Diámetro del conducto de salida para MP - **0.20 m**.
- D_{SC} [m]: Diámetro del cuerpo del ciclón - **0.80 m**.

Una vez definidas las dimensiones del ciclón, se verificó que la velocidad de entrada (vin_{SC}) se encuentre dentro del rango bibliográfico admisible de 8.0-30.0 m/s [32] [113]:

$$[\text{Ec. 158}] \quad vin_{SC} = Qin_{SC} / (H_{SC} * W_{SC})$$

Donde:

- vin_{SC} [m/s]: Velocidad del aire ingresando al ciclón - **14.1 m/s**.
- Qin_{SC} [m³/s]: Caudal de aire ingresando al ciclón (20°C y 1 atm) - 1.13 m³/s.
- H_{SC} [m]: Altura de la sección de entrada al ciclón - 0.40 m.
- W_{SC} [m]: Ancho de la sección de entrada al ciclón - 0.20 m.

Pérdida de carga a través del ciclón

Usando las siguientes expresiones, se verificó que la caída de presión en el SC (hl_{SC}) sea menor a 150 mm_{H2O}, valor de referencia hallado para ciclones de eficiencia media [32] [113]:

$$[\text{Ec. 159}] \quad hl_{SC} = Hv_{SC} * vin_{SC}^2 * \rho_{gas} * \frac{1 \text{ mmH}_2\text{O}}{9.806 \text{ Pa}} \quad [\text{Ec. 160}] \quad Hv_{SC} = K_{SC} * (H_{SC} * W_{SC}) / De_{SC}^2$$

Donde:

- hl_{SC} [mm_{H2O}]: Caída de presión en el ciclón - **97.1 mm_{H2O}**.
- Hv_{SC} : Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón - **8.00**.
- vin_{SC} [m/s]: Velocidad del aire ingresando al ciclón - 14.1 m/s.
- ρ_{gas} [kg/m³]: Densidad del aire captado (se consideró 20°C y 1 atm) - 1.204 kg/m³.
- K_{SC} : Constante empírica, para ciclones de entrada tangencial (ref. [113]) - 16.
- H_{SC} [m]: Altura de la sección de entrada al ciclón - 0.40 m.
- W_{SC} [m]: Ancho de la sección de entrada al ciclón - 0.20 m.
- De_{SC} [m]: Diámetro del conducto de salida para gases (*vortex finder*) - 0.40 m.

Eficiencia de recolección

La eficiencia de recolección de un ciclón varía en función del tamaño y la densidad de las partículas ingresantes, tal como se observa en la Figura 47. En línea con lo expuesto, se estimó la eficiencia de recolección global del SC (η_{SC}) como la sumatoria ponderada de las eficiencias de recolección parciales ($\eta(d_{MPi})$), para diferentes tamaños de MP [32] [96]:

$$[\text{Ec. 161}] \quad \eta_{SC} = 100\% * \sum \eta(d_{MPi}) * fr(d_{MPi}) \quad [\text{Ec. 162}] \quad \eta(d_{MPi}) = 1 / (1 + (dc_{MP} / d_{MPi})^2)$$

$$[\text{Ec. 163}] \quad dc_{MP} = \sqrt{(9 * \mu_{gas} * W_{SC}) / (\pi * N_{SC} * vin_{SC} * (\rho_{MP} - \rho_{gas}))} * 10^6 \frac{\mu m}{m}$$

Donde:

- η_{SC} [%]: Eficiencia de recolección global del ciclón SC - **99.4%**.
- $\eta(d_{MPi})$: Eficiencia de recolección fraccional del ciclón SC, asociada al diámetro de partícula d_{MPi} - **Resultados en Figura 47.**
- d_{cMP} [μm]: Diámetro de corte del ciclón SC (tamaño de partícula para el cual el 50% del MP ingresante es recolectado en el ciclón) - **14.7 μm .**
- $fr(d_{MPi})$: Proporción que representa la partícula con diámetro d_{MPi} , dentro del conjunto total de MP ingresando al ciclón SC - Ver proporciones en Figura 12 o Figura 47.
- d_{MPi} [μm]: Diámetro del MP ingresante - Ver distribución en Figura 12 o Figura 47.
- μ_{gas} [Pa.s]: Viscosidad dinámica del aire (se tomó 20°C y 1 atm) - $1.813 \cdot 10^{-5}$ Pa.s.
- W_{SC} [m]: Ancho de la sección de entrada al ciclón - 0.20 m.
- N_{sSC} : Número efectivo de trayectorias en espiral, tomadas por el aire dentro del cuerpo del ciclón SC (obtenido gráficamente a partir de la Figura 48) - 3.50.
- v_{inSC} [m/s]: Velocidad del aire ingresando al ciclón SC - 14.1 m/s (46.1 ft/s).
- ρ_{MP} [kg/m^3]: Densidad del MP captado (ver Tabla 13) - $980 \text{ kg}/\text{m}^3$.
- ρ_{gas} [kg/m^3]: Densidad del aire captado (se consideró 20°C y 1 atm) - $1.204 \text{ kg}/\text{m}^3$.

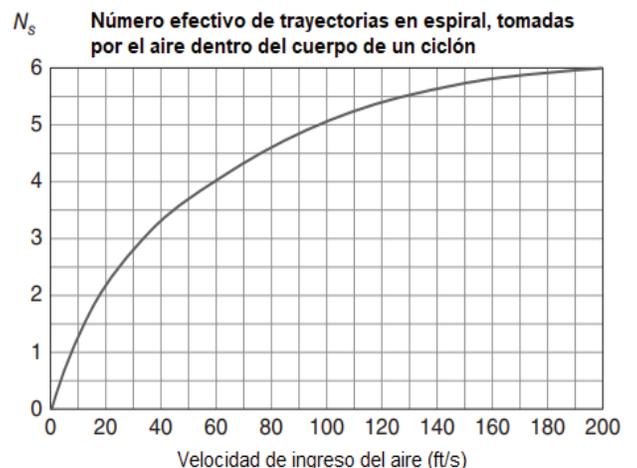
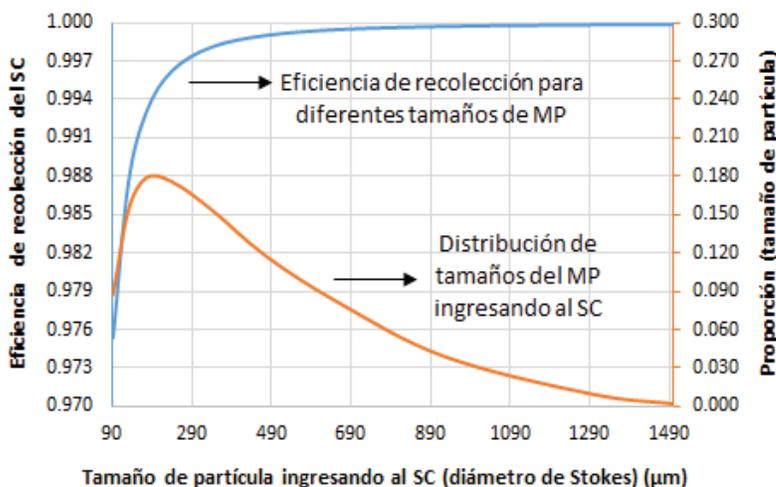


Figura 47: Eficiencia de recolección obtenida en el separador ciclónico SC, como función del tamaño de partículas ingresantes.

Figura 48: Número efectivo de trayectorias tomadas por el aire dentro del SC, en función de su velocidad de ingreso. Ref.: [32].

Una vez obtenida la eficiencia global η_{SC} , se estimó la concentración de MP en la entrada y salida del SC (MP_{inSC} - MP_{sSC}). El cálculo realizado considera que el MP emitido es captado en su totalidad por el sistema de ventilación propuesto. Las concentraciones se expresan como MP10, en base seca, y en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) (0°C y 1 atm), permitiendo así la comparación con el Decreto N° 1074/18 del OPDS.

$$[\text{Ec. 164}] \quad MP_{S_{SC}} = MP_{in_{SC}} * \left(1 - \frac{\eta_{SC}}{100\%}\right) \quad [\text{Ec. 165}] \quad MP_{in_{SC}} = \frac{MP_{Gen}}{NdQ_{in_{SC}}} * 10^6 \frac{mg}{kg} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$[\text{Ec. 166}] \quad NdQ_{in_{SC}} = Q_{in_{SC}} * \frac{P_{gas_{SC}}}{1 atm} * \frac{273^{\circ}K}{T_{gas_{SC}}} * \frac{100\% - Bw_{IT}}{100\%}$$

Donde:

- $MP_{S_{SC}}$ [mg/Nm³]: Concentración de MP10 saliendo del SC, en CNPT - **13.3 mg/Nm³**.
- $MP_{in_{SC}}$ [mg/Nm³]: Conc. de MP10 ingresado al SC, en CNPT - **2061.1 mg/Nm³**.
- $NdQ_{in_{SC}}$ [Nm³/s]: Caudal de aire seco entrando al SC, en CNPT - **1.05 Nm³/s**.
- MP_{gen} [kg/h]: Emisión media de Material Particulado Total, vinculada a la operación de las pulidoras (ver [Ec. 6], en Caracterización de las emisiones de MP) - 7.8 kg/h.
- $Q_{in_{SC}}$ [m³/s]: Caudal de aire entrando al SC (se consideró 20°C y 1 atm) - 1.13 m³/s.
- $P_{gas_{SC}}$ [atm]: Presión considerada para el aire ingresando al SC - 1 atm.
- $T_{gas_{SC}}$ [°K]: Temperatura considerada para el aire ingresando al SC - 293°K (20°C).
- Bw_{SC} [% vol]: Porcentaje de vapor en la corriente de gas. Dada la naturaleza de las emisiones generadas en la etapa de pulido, se asume como no significativo - 0%.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 62: Separador ciclónico para el tratamiento de las emisiones de MP provenientes de la etapa de pulido.

Separador ciclónico		
Diámetro del cuerpo del ciclón (m)	D _{SC}	0.80
Longitud del cuerpo del ciclón (m)	L _{bSC}	1.60
Alto y ancho de la sección de entrada de aire (m)	H _{SC} - W _{SC}	0.40 - 0.20
Diámetro y largo del conducto de salida de aire (m)	D _{eSC} - S _{SC}	0.40 - 0.50
Longitud de la tolva del ciclón (m)	L _{cSC}	1.60
Diámetro del conducto de salida para MP (m)	D _{dSC}	0.20

Sistema de conducción y extracción

Los conductos del sistema de ventilación propuesto cumplen la función de llevar el aire captado desde las pulidoras hasta el punto de descarga, asegurando al mismo tiempo una velocidad de transporte adecuada. Su diseño define las características del ventilador, el cual debe ser capaz de mover el aire a través del sistema de conducción y extracción.

Trazado del sistema de conducción y extracción

Para realizar el trazado de un sistema de conducción y extracción (SCE_{MP}), se requiere conocer las dimensiones del edificio donde se emplaza la industria, la distribución en planta de los equipos que actúan como fuentes de emisión de contaminantes, y la ubicación de

otras instalaciones que puedan actuar como obstáculos para los conductos de transporte [2] [72]. Siendo que la curtiembre *Encuerado* es en realidad una firma teórica, se utilizó un trazado hipotético para el SCE_{MP} (ver Figura 49). El sistema de conductos propuesto fue segmentado en tramos, a fin de poder simplificar el cálculo de la caída de presión.

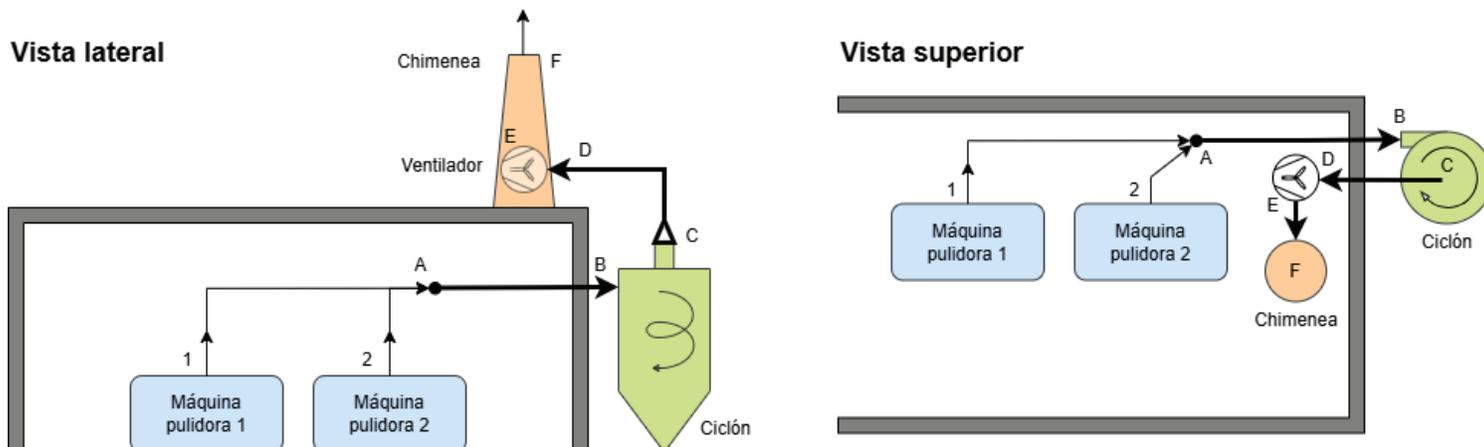


Figura 49: Trazado considerado para el sistema de captación y extracción vinculado a la etapa de pulido (SCE_{MP}). Los puntos 1-2 y A-F refieren a nodos dentro del sistema de ventilación, los cuales se utilizan para definir tramos de conductos. El aumento de diámetro en los conductos troncales respecto a los ramales, se representa con un aumento en el espesor de las flechas.

Dimensiones de los conductos

El SCE_{MP} se diseñó utilizando una metodología de equilibrio por compuertas, en la que el caudal de aire circulando ($Q_{a_{SCE_{MP}}}$) es definido en función de los requisitos de las campanas de captación, y se establecen los diámetros de los conductos ($D_{SCE_{MP}}$) tal de asegurar una velocidad de transporte ($v_{t_{MP}}$) adecuada (suficiente para impedir la deposición de MP, sin generar una excesiva pérdida de presión en el sistema). En cada empalme se suman los caudales de las corrientes aportadas por los ramales que concurren al mismo, y se usa este valor para calcular el diámetro del troncal. La metodología de diseño también contempla el agregado de compuertas de regulación en cada campana, las cuales se ajustan cuando el SCE_{MP} se pone en funcionamiento para lograr el caudal de aire requerido [2] [72].

Una vez aclarado esto, se determinaron los diámetros de conducto del SCE_{MP} ($D_{SCE_{MP}}$), cuidando que la velocidad del aire circulando respete el rango 12.5-20.0 m/s, hallado para transporte de polvo ordinario [2] [72]. Los resultados obtenidos, se muestran en la Tabla 63.

$$[Ec. 167] \quad D_{SCE_{MP}i} = \sqrt{(Q_{a_{SCE_{MP}i}} * 4) / \pi * v_{t_{MP}i}}$$

Donde:

- $D_{SCE MP i}$ [m]: Diámetro de conducto del tramo i - **Ver Tabla 63.**
- $vt_{MP i}$ [m/s]: Velocidad de transporte del tramo i (valor diseño: 15 m/s) - Ver Tabla 63.
- $Q_{a_{SCE MP i}}$ [m³/s]: Caudal de aire del tramo i (condiciones operativas) - Ver Tabla 63.

Tabla 63: Caudal, diámetro (D_{SCE}) y velocidad de transporte (vt), obtenidos para cada tramo del SCE_{MP} (ver Figura 49).

Tramo	Descripción del tramo	Caudal (m ³ /s)	D_{SCE} (m)	vt (m/s)
1-A	Desde pulidora 1 hasta nodo A	0.56 ($Q_{a_{C MP}}$) (20°C y 1 atm)	0.22	14.8
2-A	Desde pulidora 2 hasta nodo A	0.56 ($Q_{a_{C MP}}$) (20°C y 1 atm)	0.22	14.8
A-B	Desde nodo A hasta entrada del SC	1.13 ($Q_{in_{SC}}$) (20°C y 1 atm)	0.31	14.9
B-C	Unidad de tratamiento SC	1.13 ($Q_{in_{SC}}$) (20°C y 1 atm)	-	-
C-D	Desde salida del SC hasta entrada del ventilador	1.13 ($Q_{in_{SC}}$) (20°C y 1 atm)	0.31	14.9
D-E	Ventilador centrífugo	1.13 ($Q_{a_{V MP}}$) (20°C y 1 atm)	-	-
E-F	Desde salida del ventilador hasta descarga final	1.13 ($Q_{a_{V MP}}$) (20°C y 1 atm)	0.31	14.9

Pérdida de presión en el sistema

La circulación del aire en los diferentes componentes del SCE_{MP} produce una pérdida de presión ($ht_{SCE MP}$), que debe ser compensada por el ventilador. Se distinguen pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos ($h1_{SCE MP}$), pérdidas localizadas por accesorios o singularidades ($h2_{SCE MP}$), por entradas o cambios en la velocidad de circulación ($h3_{SCE MP}$), y aquellas vinculadas a unidades de tratamiento ($h4_{SCE MP}$) [2] [72]. Usando las expresiones a continuación, se calculó el valor de $ht_{SCE MP}$ para cada tramo del SCE_{MP} . Los resultados obtenidos, así como también las dimensiones y accesorios considerados, se presentan en la Tabla 64. La planilla completa de cálculos realizados se presenta en el Anexo V.

$$[\text{Ec. 168}] \quad ht_{SCE MP i} = h1_{SCE MP i} + h2_{SCE MP i} + h3_{SCE MP i} + h4_{SCE MP i}$$

$$[\text{Ec. 169}] \quad h1_{SCE MP i} = f c_{SCE} * (5.38 * vt_{MP i}^{1.9} / D_{SCE MP i}^{1.22}) * L_{SCE MP i}$$

$$[\text{Ec. 170}] \quad h2_{SCE MP i} = hD_{SCE MP i} * \sum K a_{SCE MP i}$$

$$[\text{Ec. 171}] \quad h3_{SCE MP i} = \begin{cases} hD_{SCE MP i} * (1 + K c_{SCE MP}) & \text{para ramales} \\ hD_{SCE MP i} - hDD_{SCE MP i} & \text{para troncales} \end{cases}$$

$$[\text{Ec. 172}] \quad hD_{SCE MP i} = (vt_{MP i} / 4.044)^2$$

$$[\text{Ec. 173}] \quad hDD_{SCE MP i} = \frac{(Q_{a_{SCE MP i}} * hD_{SCE MP i} + Q_{a_{SCE MP j}} * hD_{SCE MP j})}{(Q_{a_{SCE MP i}} + Q_{a_{SCE MP j}})}$$

Donde:

- $ht_{SCE MP i}$ [mm_{H2O}]: Caída de presión total en el tramo i - **Ver Tabla 64 o Anexo V.**

- $h_{1SCE MP i}$ [mm_{H_2O}]: Caída de presión en el tramo i , asociada a la fricción en conductos rectos - **Ver Tabla 64 o Anexo V.**
- $h_{2SCE MP i}$ [mm_{H_2O}]: Caída de presión en el tramo i , asociada a la presencia de accesorios o singularidades - **Ver Tabla 64 o Anexo V.**
- $h_{3SCE MP i}$ [mm_{H_2O}]: Caída de presión en el tramo i , asociada a la entrada de aire por campanas (ramales) o a su aceleración (troncales) - **Ver Tabla 64 o Anexo V.**
- $h_{DSCE MP i}$ [mm_{H_2O}]: Altura de presión dinámica en el tramo i - **Ver Anexo V.**
- $h_{DD_{SCE MP Ti}}$ [mm_{H_2O}]: Altura de presión dinámica disponible en el tramo i (troncal). Los subíndices l y j denotan tramos que convergen en el troncal i - **Ver Anexo V.**
- $h_{4SCE MP i}$ [mm_{H_2O}]: Caída de presión en la unidad de tratamiento (h_{lsc}) - $97.1 mm_{H_2O}$.
- f_{CSCE} : Factor de corrección, corresponde al material de las cañerías (se considera chapa de hierro galvanizada) (tomado de ref. [72]) - 1.0.
- $v_{MP i}$ [m/s]: Velocidad de transporte del tramo i - Ver Tabla 63 o Anexo V.
- $Q_{aSCE MP i}$ [m^3/s]: Caudal de aire circulando en el tramo i - Ver Tabla 63 o Anexo V.
- $D_{SCE MP i}$ [m]: Diámetro de conducto del tramo i - Ver Tabla 64 o Anexo V.
- $L_{SCE MP i}$ [m]: Longitud de conducto del tramo i - Ver Tabla 64 o Anexo V.
- $\Sigma K_{aSCE MP i}$: Coef. de accesorios del tramo i (ref. [2] [72]) - Ver Tabla 64 o Anexo V.
- $K_{CSCE MP}$: Coef. por entrada de aire en campanas de pulidoras (ref. [2] [72]) - 0.25.

Tabla 64: Dimensiones de conducto y accesorios considerados para el cálculo de la pérdida de presión (ht) en los diferentes tramos del SCE_{MP} (ver Figura 49). h_1 : Pérdidas en tramos rectos por fricción. h_2 : Pérdidas localizadas por accesorios. h_3 : Pérdidas por entradas o cambios en la velocidad de transporte. h_4 : Caída de presión en la unidad de tratamiento. Ref.: [2] [113].

Tramo	Conductos (m)		Accesorios considerados		Pérdidas de presión (mm_{H_2O})				
	Long.	Diám.	Descripción de accesorios	ΣKa	h_1	h_2	h_3	h_4	ht
1-A	10.25	0.22	(x2) codo 90°	0.54	12.8	7.2	16.7	-	36.8
2-A	4.00	0.22	(x1) codo 90° - (x1) empalme 30° c/ codo 60°	0.63	5.0	8.4	16.7	-	30.2
A-B	3.25	0.31	(x1) ensanchamiento	0.15	2.7	2.0	0.2	-	4.9
B-C	-	-	-	-	-	-	-	97.1	97.1
C-D	3.00	0.31	(x1) codo 90° - (x1) estrechamiento	0.40	2.5	5.4	1.5	-	9.4
D-E	-	-	(x2) acoples y accesorios del ventilador	1.00	-	13.6	0.0	-	13.6
E-F	3.00	0.31	(x1) accesorios descarga tipo americana	1.28	2.5	17.4	0.0	-	19.9

Nota: Para asegurar una adecuada dispersión atmosférica de los contaminantes, se definió utilizar una chimenea tipo americana (ver Figura Anexo 38), con una altura de descarga 3.00 m por encima del punto más alto del edificio [2] [39]. La elevación total de la chimenea se estimó entonces en **9.00 m** respecto al nivel del piso (H_{sMP}).

Ventilador de impulsión

Se plantea la instalación de un ventilador centrífugo, capaz de asegurar la circulación del aire y vencer las resistencias del SCE_{MP}. Para calcular la potencia requerida en dicho equipo (P_{m_{V MP}}), se consideró una eficiencia mecánica del **65%** ($\eta_{m_{V MP}}$), y se usaron las alturas de presión estática (hE_{V MP}) y dinámica (hD_{V MP}) en su sección de entrada y de salida [2] [39]:

$$[\text{Ec. 174}] \quad P_{m_{V MP}} = ht_{V MP} * Q_{a_{V MP}} * \eta_{m_{V MP}} * (9.81 \text{ m/s}^2) * \frac{1 \text{ W}}{1000 \text{ kW}}$$

$$[\text{Ec. 175}] \quad ht_{V MP} = (hE_{S_{V MP}} - hE_{e_{V MP}}) - (hD_{S_{V MP}} - hD_{e_{V MP}})$$

Donde:

- P_{m_{V MP}} [kW]: Potencia mecánica requerida en el eje del ventilador - **3.09 kW**.
- ht_{V MP} [mm_{H2O}]: Altura de presión total entregada por el ventilador - **181.7 mm_{H2O}**.
- $\eta_{m_{CP}}$: Eficiencia mecánica estimada para el ventilador (ref. [17]) - 0.65.
- Q_{a_{V MP}} [m³/s]: Caudal de aire circulando por el ventilador (ver Tabla 63) - 1.13 m³/s.
- hE_{S_{V MP}} [mm_{H2O}]: Altura de presión estática en la sección de salida del ventilador (ver Anexo V) (ver nota al final del inciso) - 26.7 mm_{H2O}.
- hE_{e_{V MP}} [mm_{H2O}]: Altura de presión estática en la sección de entrada del ventilador (ver Anexo V) (ver nota al final del inciso). Se utiliza un valor negativo, por tratarse de una depresión - 155.0*(-1) mm_{H2O}.
- hD_{S_{V MP}} [mm_{H2O}]: Altura de presión dinámica en la sección de salida del ventilador, calculada con la expresión [Ec. 172] (ver Anexo V) - 13.6 mm_{H2O}.
- hD_{e_{V MP}} [mm_{H2O}]: Altura de presión dinámica en la sección de entrada del ventilador, calculada con la expresión [Ec. 172] (ver Anexo V) - 13.6 mm_{H2O}.

En función de los resultados obtenidos, se optó por instalar un ventilador centrífugo **Casals MTRM 500**. El modelo elegido cuenta con un motor de 4 kW de potencia (Pot_{V MP}), diámetro de entrada igual a 360 mm y salida de 404x288 mm (comparables al diámetro de troncal adoptado para SCE_{MP}, de 0.31 m). Se proyectó su operación a 2100 rpm, con un caudal de aire igual a Q_{a_{V MP}} (ver especificaciones y punto de operación en la Figura Anexo 37).

Nota: El valor de hE_{e_{V MP}} se estimó a partir de acumular la caída de presión total (ht_{SCE MP}) en la sección de entrada del ventilador con las de los tramos aguas arriba, hasta alcanzar una de las campanas de captación. Se consideró el camino hasta la campana que permita una mayor pérdida de presión acumulada. El cálculo de hE_{S_{V MP}} se realizó de forma análoga, usando las pérdidas de presión totales de los tramos aguas abajo, hasta la descarga final.

Resumen del diseño de la instalación

Tabla 65: Sistema de captación y extracción de las emisiones de MP vinculadas al pulido del cuero.

Sistema de conductos			Ventilador centrífugo		
Velocidad de transporte (m/s)	v_{tMP}	15	Marca y modelo		Casals - MTRM 500
Diámetro de ramales (m)	$D_{SCE MP Ri}$	0.22	Caudal operativo (m ³ /s)	$Q_{aV MP}$	1.13 (20°C y 1 atm)
Diámetro de troncales (m)	$D_{SCE MP Ti}$	0.31	Potencia del motor (kW)	$PotV MP$	4
Longitud total ramales (m)	$\Sigma L_{SCE MP Ri}$	14.25	Revoluciones vent. (rpm)	$RPMV MP$	2100
Longitud total troncales (m)	$\Sigma L_{SCE MP Ti}$	9.25	Altura de presión (mmH ₂ O)	$htV MP$	181.7

Captación y tratamiento de las emisiones vinculadas a la terminación

Las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) generadas en las operaciones de revestimiento de superficie de los cueros, y vinculadas a la cabina de pintado y túnel de secado, son controladas con un sistema de ventilación localizada. El mismo se compone por dos campanas de captación, un sistema de conductos de transporte, un ventilador de impulsión, una unidad de incineración, y una chimenea de evacuación (ver Figura 18).

Campanas de captación

Cabina de pintado con revolver automático

Para controlar las emisiones de COVs vinculadas a la aplicación de capas de terminación, se buscó deprimir la cabina de pintado (foco de generación). Así, se proyectó la instalación de un conducto de captación sobre la cabina, el cual se conecte a un pleno con prefiltro y orificios que permitan una adecuada distribución del flujo de aire (ver Figura 50) [39] [106].

El caudal de aire a ser aspirado desde la cabina ($Q_{aC COV}$) se obtuvo con la [Ec. 176]. Dicho cálculo contempló una velocidad de control en las aberturas del equipo de **1.00 m/s** (vc_{COV}), la cual responde al valor recomendado en bibliografía para este tipo de instalaciones [106].

$$[\text{Ec. 176}] \quad Q_{aC COV} = At_{pint} * vc_{COV}$$

Donde:

- $Q_{aC COV}$ [m³/s]: Caudal de aire a ser aspirado desde la cabina de pintado - **0.77 m³/s**.
- At_{pint} [m²]: Superficie abierta de la cabina de pintado (estimada a partir del modelo comercial de la Figura Anexo 39). Se contemplaron las compuertas de ingreso y egreso de los cueros, y las aberturas para las pistolas de aspersion - 0.77 m².
- vc_{MP} [m/s]: Velocidad de control considerada, obtenida de ref. [106] - 1.00 m/s.



Figura 50: Izq.: Conducto de captación de COVs, propuesto para la cabina de pintado. Der.: Orificios dentro de la cabina de pintado, para la distribución del aire de succión. Ref.: [12].

Zona flash off

El control de las emisiones de COVs que ocurren en el espacio de transición entre la cabina de pintado y el túnel de secado (zona *flash off*), se concibió mediante la instalación de una campana suspendida. La misma se diseñó siguiendo las especificaciones de la Figura 51, y contemplando una altura de **1.00 m** respecto a la fuente de emisión ($H_{FO\ COV}$) [2] [39].

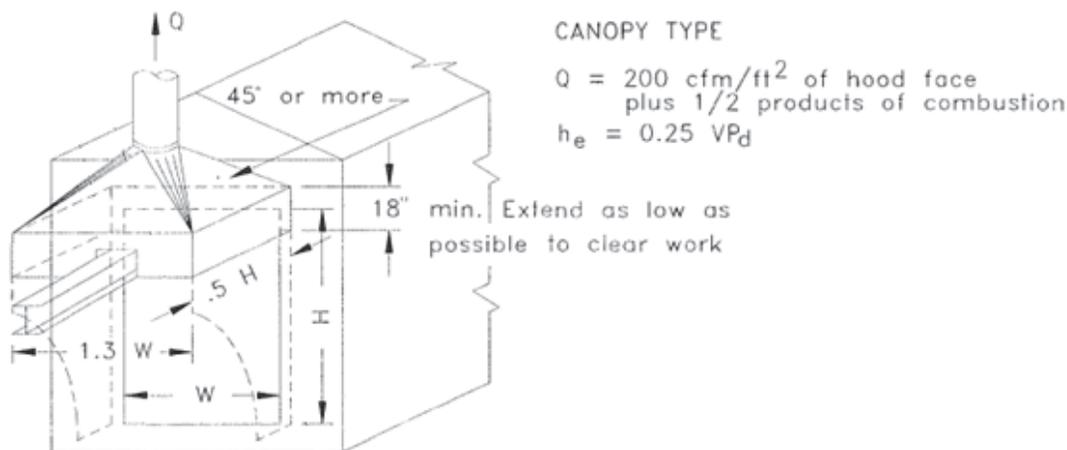


Figura 51: Especificaciones de campana suspendida de laterales abiertos, a instalar en zona *flash off*. Ref.: [2].

Para estimar el caudal de aire aspirado ($Q_{a\ FO\ COV}$), se utilizó una relación bibliográfica entre caudal y superficie abierta de campana de **1.00 m³/m².s** (R_{QA}) [2]. El cálculo realizado, fue:

[Ec. 177] $Q_{a\ FO\ COV} = W_{FO\ COV} * L_{FO\ COV} * R_{QA}$

[Ec. 178] $W_{FO\ COV} = W_{Tunel} * 1.3$

[Ec. 179] $L_{FO\ COV} = H_{FO\ COV} * 0.5$

Donde:

- $Q_{a_{FO\ COV}}$ [m^3/s]: Caudal de aire a ser aspirado por la campana - **1.58 m^3/s** .
- $W_{FO\ COV}$ [m]: Ancho adoptado para el frente abierto de la campana - **3.10 m**.
- $L_{FO\ COV}$ [m]: Largo adoptado para el frente abierto de la campana - **0.50 m**.
- $W_{t_{Tunel}}$ [m]: Ancho de la compuerta de ingreso al túnel de secado (estimada a partir del modelo comercial presentado en la Figura Anexo 39). - 2.40 m.
- R_{QA} [$m^3/m^2.s$]: Relación entre caudal de aspiración y superficie abierta de campana (tomado de ref. [2]) - 1.00 $m^3/m^2.s$ (200 cfm/ft²).

Nota: Se considera que el túnel de secado ya cuenta con un sistema prefabricado para la captación y tratamiento de las emisiones gaseosas provenientes de su cuerpo. De esta forma, la campana propuesta representa un control de las emisiones fugitivas del equipo.

Unidad de tratamiento: Incinerador térmico

El aire captado por el sistema de ventilación es conducido a una unidad de incineración (IT), donde los COVs son oxidados térmicamente (ver Figura 53). Se consideró un caudal de entrada de 2.35 m^3/s ($Q_{in_{IT}}$), en condiciones de 20°C y 1 atm, equivalente a la suma del aire aspirado en la cabina de pintado y la campana propuesta para la zona *flash off*. La carga másica media de COVs ingresando en la unidad, se extrajo de la expresión [Ec. 8].

Límite Inferior de Explosividad (LIE)

El límite inferior de explosividad (LIE) refiere a la concentración más baja de un gas en aire que puede encenderse y propagarse frente a una fuente de ignición. Como requisito de seguridad, la concentración de los diferentes COVs a incinerar no debe exceder el 25% de su respectivo LIE, siendo necesario diluir con aire atmosférico en caso contrario [104].

El anterior criterio se verificó con la [Ec. 180] para metanol, metiletilcetona (MEK), tolueno y xileno, los cuales se asumen como las mayores emisiones de la etapa de terminación. En cada cálculo se consideró una situación límite, en la que el total de los COVs liberados se conforma exclusivamente por el contaminante evaluado. Como resultado, se obtuvo la máxima concentración de entrada posible de cada compuesto ($COV_{in_{IT\ i\ max}}$), expresada en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) (0°C y 1 atm) y base seca, de acuerdo con lo indicado por el Decreto N° 1074/18 del OPDS (ver Tabla 66).

$$[Ec. 180] \quad COV_{in_{IT\ i\ max}} < 0.25 * LIE_i \qquad [Ec. 181] \quad COV_{in_{IT\ i\ max}} = \frac{(COV_{in_{IT}} * Vm_{gas})}{Mr_i} * \frac{1\%}{10^4\ ppm}$$

$$[Ec. 182] \quad COV_{in_{IT}} = \frac{COV_{gen}}{NdQ_{in_{IT}}} * \frac{10^6\ mg}{1\ kg} * \frac{1\ h}{3600\ s} \qquad [Ec. 183] \quad NdQ_{in_{IT}} = Q_{in_{IT}} * \frac{P_{gas_{IT}}}{1\ atm} * \frac{273\ K}{T_{gas_{IT}}} * \frac{100\% - Bw_{IT}}{100\%}$$

Donde:

- $COV_{inIT\ i\ max}$ [% vol]: Máxima concentración volumétrica de ingreso al IT, expresado en CNPT y base seca, para metanol, MEK, tolueno o xileno - **Ver Tabla 66**.
- COV_{inIT} [mg/Nm³]: Concentración promedio de COVs totales ingresando al IT, expresado en CNPT y base seca - **5405 mg/Nm³**.
- NdQ_{inIT} [Nm³/s]: Caudal de aire seco ingresando al IT, en CNPT - **2.02 Nm³/s**.
- LIE_i [% vol]: Límite inferior de explosividad, en CNPT - Ver Tabla 66.
- Mr_i [g/mol]: Masa molar del metanol, metiletilcetona, tolueno o xileno - Ver Tabla 66.
- $V_{m\ gas}$ [dm³/mol]: Volumen molar del aire, en CNPT - 22.4 dm³/mol.
- COV_{gen} [kg/h]: Emisión media de COVs totales al aire del ambiente laboral, vinculado a la operación de la cabina de pintado y el túnel de secado (ver [Ec. 8]) - 39.3 kg/h.
- Q_{inIT} [m³/s]: Caudal de aire entrando al IT (se consideró 20°C y 1 atm) - 2.35 m³/s.
- P_{gasIT} [atm]: Presión considerada para el aire ingresando al IT - 1 atm.
- T_{gasIT} [°K]: Temperatura considerada para el aire ingresando al IT - 293°K (20°C).
- BW_{IT} [% vol]: Porcentaje de vapor en la corriente de ingreso al IT (valor adoptado de ref. [14], para una corriente proveniente de un túnel de secado de terminación) - 8%.

Tabla 66: Masa molar (Mr), límite inferior de explosividad (LIE), y máxima concentración volumétrica de ingreso al IT (COV_{inIT}), para los principales COVs emitidos durante la etapa de terminación. Concentraciones expresadas en CNPT (0°C y 1 atm). Ref.: [104].

COV	Mr (g/mol)	LIE (% vol)	0.25*LIE	$COV_{inIT\ max}$ (% vol)	Verificación
Metanol	32.04	6.70	1.68	0.38	Se verifica $COV_{IT} < 0.25*LIE$
Metiletilcetona	72.11	1.90	0.48	0.17	Se verifica $COV_{IT} < 0.25*LIE$
Tolueno	92.14	1.20	0.30	0.13	Se verifica $COV_{IT} < 0.25*LIE$
Isómeros de Xileno	106.16	1.10	0.28	0.11	Se verifica $COV_{IT} < 0.25*LIE$

Condiciones de incineración

La unidad de incineración se diseñó con una temperatura de combustión de **850°C** (T_{OIT}), un tiempo de residencia de **0.75 s** (tr_{IT}), y condiciones de mezcla completa para el gas. Asegurando estas variables, la bibliografía consultada reporta una eficiencia de destrucción del **98%** (DE_{IT}) para compuestos orgánicos misceláneos no halogenados [32] [104].

Se plantea que el IT cuente con un intercambiador de calor, el cual permita precalentar el gas ingresando en la unidad. La eficiencia de recuperación de calor proyectada fue del **40%** (HR_{IT}), encontrándose dentro del rango bibliográfico relevado de 35-70% [104].

Requerimiento de combustible

El incinerador térmico IT requiere un suplemento de combustible externo para alcanzar la temperatura de combustión de diseño (T_{OIT}). La cantidad de combustible a inyectarse (Q_{fIT}) depende de su poder calorífico, del calor sensible contenido en la corriente de aire a tratar, del calor generado por la combustión de COVs contenidos en dicha corriente de ingreso, y de la eficiencia de recuperación de calor de la unidad [39] [104]. La expresión usada para calcular Q_{fIT} , considerando la inyección de **gas natural**, se presenta a continuación [104]:

$$[\text{Ec. 184}] \quad SQ_{fIT} = SQ_{inIT} * \frac{S\rho_{gas} * [Cp_{gas} * (1.1 * T_{OIT} - Thr_{gas} - 0.1 * 77^\circ F) - he_{gas}]}{S\rho_{CH4} * [he_{CH4} - 1.1 * Cp_{gas} * (T_{OIT} - 77^\circ F)]}$$

$$[\text{Ec. 185}] \quad Thr_{gas} = \frac{HR_{IT}}{100\%} * T_{OIT} + \left(1 - \frac{HR_{IT}}{100\%}\right) * T_{gasIT}$$

$$[\text{Ec. 186}] \quad SQ_{inIT} = Q_{inIT} * \frac{P_{gasIT}}{1 \text{ atm}} * \frac{298^\circ K}{(T_{gasIT} - 32^\circ F) * (5/9) + 273^\circ K}$$

Donde:

- SQ_{fIT} [Sm^3/s]: Caudal de gas natural a ser inyectado en la unidad IT, en condiciones estándares de presión y temperatura (CSPT) (25°C y 1 atm). - **0.043 Sm^3/s** .
- Thr_{gas} [$^\circ\text{F}$]: Temperatura del gas, luego del intercambiador de calor - **666 $^\circ\text{F}$ (352 $^\circ\text{C}$)**.
- SQ_{inIT} [Sm^3/s]: Caudal de aire entrando al IT, en CSPT (25°C y 1 atm) - **2.40 Sm^3/s** .
- Q_{inIT} [m^3/s]: Caudal de aire entrando al IT (se consideró 20°C y 1 atm) - 2.35 m^3/s .
- $S\rho_{gas}$ [lb/scf]: Densidad del aire en CSPT (25°C y 1 atm) - 0.0739 lb/scf .
- $S\rho_{CH4}$ [lb/scf]: Densidad del gas natural en CSPT (25°C y 1 atm) - 0.0408 lb/scf .
- Cp_{gas} [$\text{Btu}/\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}$]: Capacidad calorífica media del aire, considerando una temperatura entre T_{OIT} y 77°F (condición estándar). Valor tomado de ref. [104] - 0.2517 $\text{Btu}/\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}$.
- he_{gas} [Btu/lb]: Poder calorífico de la corriente de aire ingresando al IT. Valor adoptado de ref. [104], el cual considera una corriente diluida con 20% v/v de O_2 - 55.4 Btu/lb .
- he_{CH4} [Btu/lb]: Poder calorífico del gas natural (tomado de ref. [104]) - 21600.0 Btu/lb .
- HR_{IT} [%]: Eficiencia de recuperación de calor del IT - 40%.
- T_{OIT} [$^\circ\text{F}$]: Temperatura de combustión del IT - 1562 $^\circ\text{F}$ (850 $^\circ\text{C}$).
- T_{gasIT} [$^\circ\text{F}$]: Temperatura considerada para el aire ingresando al IT - 68 $^\circ\text{F}$ (20 $^\circ\text{C}$).
- P_{gasIT} [atm]: Presión considerada para el aire ingresando al IT - 1 atm.

Volumen de la cámara de combustión

El volumen mínimo de la cámara de combustión ($V_{IT \text{ min}}$) se calculó en función del tiempo de residencia proyectado (tr_{IT}), del caudal de aire y gas natural ingresando en la cámara (Q_{rcIT}), y de la temperatura de combustión adoptada (T_{OIT}) [104]. La expresión utilizada, fue:

$$[\text{Ec. 187}] \quad V_{IT \min} = Q_{CCIT} * tr_{IT} * 1.05 \quad [\text{Ec. 188}] \quad Q_{CCIT} = (SQ_{inIT} + SQ_{fIT}) * \left(\frac{T_{OIT} + 273^{\circ}K}{298^{\circ}K} \right)$$

Donde:

- Q_{CCIT} [m^3/s]: Caudal total de gas entrando a la cámara de combustión (se consideró una mezcla de aire y gas natural, en condiciones de T_{OIT} y 1 atm) - **9.19 m^3/s** .
- $V_{IT \min}$ [m^3]: Mínimo volumen requerido para la cámara de combustión - **7.23 m^3** .
- SQ_{inIT} [Sm^3/s]: Caudal de aire entrando al IT, en CSPT (25°C y 1 atm) - 2.40 Sm^3/s .
- SQ_{fIT} [Sm^3/s]: Gas natural inyectado al IT, en CSPT (25°C y 1 atm) - 0.043 Sm^3/s .
- T_{OIT} [°C]: Temperatura de combustión del IT - 850°C.
- tr_{IT} [s]: Tiempo de residencia proyectado para el IT - 0.75 s.

En base al valor obtenido para $V_{IT \min}$, y considerando una geometría cilíndrica, se adoptó un diámetro de **1.60 m** (D_{IT}) y una longitud de **3.60 m** (L_{IT}) para la unidad. Luego, se verificó que la velocidad de pasaje (v_{IT}) respete el rango recomendado de 3-15 m/s [39] [104]:

$$[\text{Ec. 189}] \quad v_{IT} = (Q_{CCIT} * 4) / (\pi * D_{IT}^2)$$

Donde:

- v_{IT} [m/s]: Velocidad de pasaje en la cámara de combustión - **4.57 m/s**.
- Q_{CCIT} [m^3/s]: Caudal total de gas ingresando a la cámara de combustión - 9.19 m^3/s .
- D_{IT} [m]: Diámetro útil de la cámara de combustión - 1.60 m.

Condiciones de descarga

Al atravesar el intercambiador de calor, la corriente incinerada transfiere parte de su calor sensible a la corriente de aire ingresando al IT. La temperatura y el caudal resultantes para los gases evacuados (T_{SIT} - Q_{SIT}), se calcularon con las expresiones a continuación:

$$[\text{Ec. 190}] \quad Q_{SIT} = \frac{SQ_{inIT} * S\rho_{gas} + SQ_{fIT} * S\rho_{CH4}}{\rho_{gas Ts}} \quad [\text{Ec. 191}] \quad T_{SIT} = \left(1 - \frac{HR_{IT}}{100\%} \right) * T_{OIT} - \frac{HR_{IT}}{100\%} * T_{gasIT}$$

Donde:

- Q_{SIT} [m^3/s]: Caudal total de gas egresando del IT (se consideró una mezcla de aire y gas natural, en condiciones de T_{SIT} y 1 atm) - **6.20 m^3/s** .
- T_{SIT} [°F]: Temperatura de la corriente gaseosa egresando del IT - **910°F (488°C)**.
- SQ_{inIT} [Sm^3/s]: Caudal de aire entrando al IT, en CSPT (25°C y 1 atm) - 2.40 Sm^3/s .
- SQ_{fIT} [Sm^3/s]: Gas natural inyectado al IT, en CSPT (25°C y 1 atm) - 0.043 Sm^3/s .
- $S\rho_{gas}$ [kg/Sm^3]: Densidad del aire en CSPT (25°C y 1 atm) - 1.184 kg/Sm^3 .
- $S\rho_{CH4}$ [kg/Sm^3]: Densidad del gas natural en CSPT (25°C y 1 atm) - 0.654 kg/Sm^3 .

- $\rho_{\text{gas Ts}}$ [kg/m³]: Densidad de la corriente gaseosa egresando del IT (se consideró aire a 488°C y 1 atm) - 0.462 kg/m³.
- HR_{IT} [%]: Eficiencia de recuperación de calor del IT - 40%.
- To_{IT} [°F]: Temperatura de combustión del IT - 1562°F (850°C).
- $T_{\text{gas IT}}$ [°F]: Temperatura considerada para el aire ingresando al IT - 68°F (20 °C).

Pérdida de carga a través de la unidad

La pérdida de presión en el IT (h_{IT}) se estimó gráficamente con la Figura 52, dando como resultado una caída de **134.4 mmH₂O**. Se consideró una eficiencia HR_{IT} del 40%.

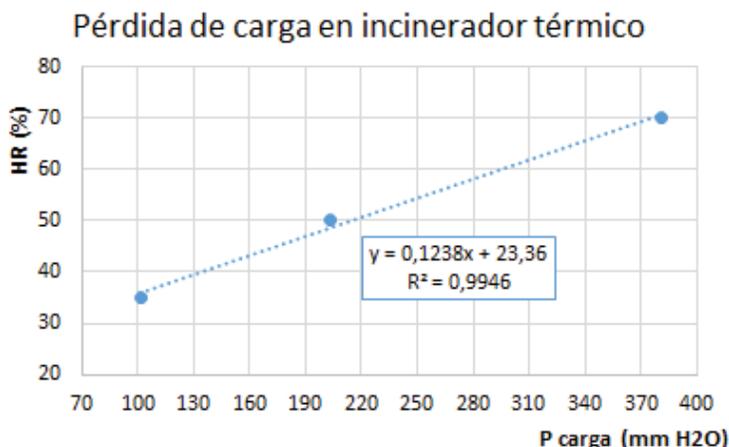


Figura 52: Pérdidas de presión típicas en un incinerador térmico con intercambiador de calor (h_{IT}), en función de su eficiencia de recuperación de calor (HR_{IT}). Gráfico construido a partir de ref. [104].

Eficiencia de destrucción

La unidad IT se diseñó con una eficiencia de destrucción del 98% (DE_{IT}), la cual se utilizó para estimar la concentración de salida del metanol, metiletilcetona (MEK), tolueno y xileno (principales emisiones de la etapa de terminación). Cada cálculo considera un caso límite, en el que los COVs liberados se conforman exclusivamente por el compuesto evaluado. Los resultados se expresan en base seca y condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) (0°C y 1 atm), permitiendo así la comparación con el Decreto N° 1074/18 del OPDS.

$$[\text{Ec. 192}] \quad COV_{S_{IT}i} = COV_{in_{IT}} * (1 - DE_{IT}/100\%)$$

Donde:

- $COV_{S_{IT}i}$ [mg/Nm³]: Concentración del compuesto i en la salida del IT, expresado en CNPT (0°C y 1 atm) y base seca - **Metanol / MEK / Tolueno / Xileno: 118 mg/Nm³**.
- $COV_{in_{IT}}$ [mg/Nm³]: Concentración de COVs totales entrando al IT, expresado en CNPT (0°C y 1 atm) y base seca - 5405 mg/Nm³.
- DE_{IT} [%]: Eficiencia de destrucción para COVs misceláneos no halogenados - 98%.

Resumen del diseño de la unidad

Tabla 67: Incinerador térmico para el tratamiento de los COVs emitidos en la etapa de terminación.

Incinerador térmico		
Requerimiento de dilución con aire atmosférico		No requiere
Diámetro y longitud útiles de la cámara de incineración (m)	$D_{IT} - L_{IT}$	1.60 - 3.60
Temperatura de la cámara de combustión (°C)	T_{OIT}	850
Tiempo de residencia de la cámara de combustión (s)	t_{rIT}	0.75
Eficiencia de recuperación de calor (%)	HR_{IT}	40
Caudal de gas natural requerido, en CSPT (Sm^3/s) (*)	SQ_{fIT}	0.043

(*) CSPT: Condiciones estándares de presión y temperatura (25°C y 1 atm).

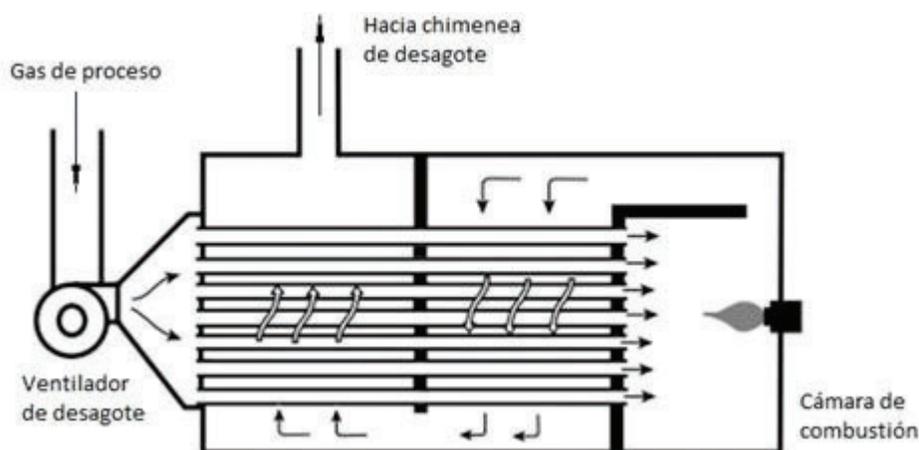


Figura 53: Esquema de incinerador térmico con intercambiador de calor. Ref.: [39].

Sistema de conducción y extracción

El aire captado en las campanas (cabina de pintura y *zona flash off*) es impulsado con un ventilador y conducido a través de una serie de cañerías, hasta alcanzar la unidad de tratamiento IT y posteriormente la chimenea de descarga. Dicho sistema de conducción y extracción (SCE_{COV}) debe permitir la distribución del aire, asegurando una velocidad de transporte adecuada y procurando minimizar pérdidas de carga.

Trazado del sistema de conducción y extracción

El trazado considerado para el sistema de conducción y extracción de las emisiones de COVs vinculadas a la etapa de terminación (SCE_{COV}), se presenta en la Figura 54. Similar al caso del SCE_{MP} asociado a las emisiones de MP, se utilizó un trazado hipotético, el cual fue segmentado en tramos para simplificar el cálculo de la caída de presión.

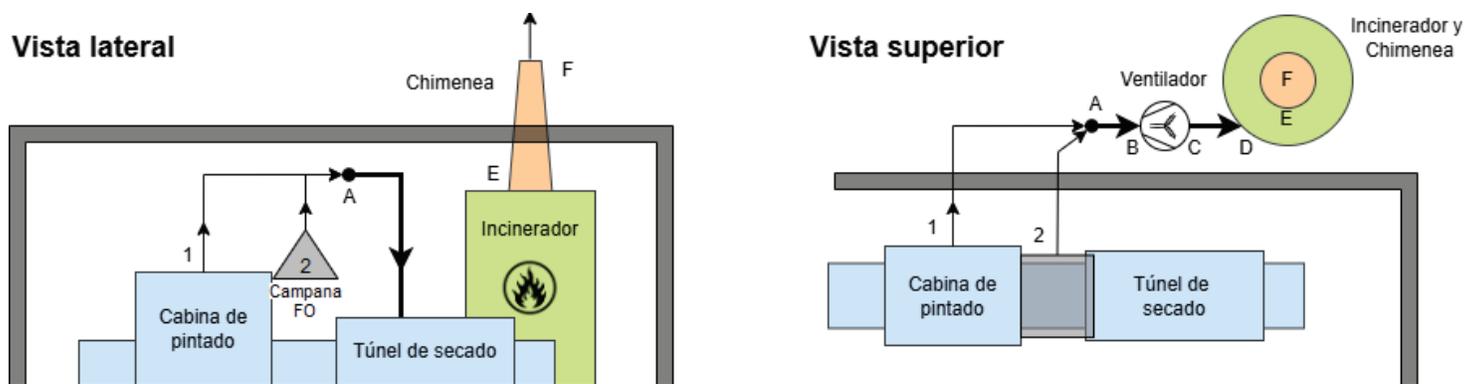


Figura 54: Trazado considerado para el sistema de captación y extracción vinculado a la etapa de terminación (SCE_{COV}). Los puntos 1-2 y A-F refieren a nodos dentro del sistema de ventilación, los cuales se utilizan para definir tramos de conductos. El aumento de diámetro en los conductos troncales respecto a los ramales, se representa con un aumento en el espesor de las flechas.

Dimensiones de los conductos

Al igual que para el caso del MP, se diseñó el SCE_{COV} utilizando una metodología basada en el equilibrio por compuertas. De esta forma, el diámetro de cada conducto ramal y troncal ($D_{SCE\ COV}$) se estableció con la expresión [Ec. 167], contemplando una velocidad de diseño igual a 10.0 m/s (vt_{COV}), la cual respeta el rango recomendado 5.0-10.0 m/s para transporte de vapores y gases [2] [72]. Los resultados obtenidos, se presentan en la Tabla 68.

Tabla 68: Caudal, diámetro (D_{SCE}) y velocidad de transporte (vt), obtenidos para los diferentes tramos del SCE_{COV} (ver Figura 54).

Tramo	Descripción del tramo	Caudal (m^3/s)	D_{SCE} (m)	vt (m/s)
1-A	Desde cabina de pintura (con prefiltro) hasta nodo A	0.77 ($Q_{ac\ COV}$) (20°C y 1 atm)	0.31	10.2
2-A	Desde campana FO hasta nodo A	1.58 ($Q_{aFO\ COV}$) (20°C y 1 atm)	0.45	10.0
A-B	Desde nodo A hasta entrada del ventilador	2.35 ($Q_{av\ COV}$) (20°C y 1 atm)	0.55	9.9
B-C	Ventilador centrífugo	2.35 ($Q_{av\ COV}$) (20°C y 1 atm)	-	-
C-D	Desde salida del ventilador hasta entrada del IT	2.35 ($Q_{av\ COV}$) (20°C y 1 atm)	0.55	9.9
D-E	Unidad de tratamiento IT	2.35 (Q_{inIT}) (20°C y 1 atm)	-	-
E-F	Desde salida del IT hasta descarga final	6.20 (Q_{sIT}) (488°C y 1 atm)	0.72	15.2

Nota: El diámetro de la chimenea se estableció tal de asegurar una velocidad de salida de 15 m/s ($vs_{SCE\ COV}$), la cual asegura una adecuada dispersión en la atmósfera de la corriente evacuada [39] [72]. Se consideró un caudal de descarga igual a Q_{sIT} (ver [Ec. 190]).

Pérdida de presión en el sistema

La pérdida de presión en cada tramo del SCE_{COV} ($ht_{SCE\ COV}$) se calculó utilizando las mismas expresiones que para el caso del SCE_{MP} : [Ec. 168] a [Ec. 173]. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 69. La planilla completa de cálculos se presenta en el Anexo V.

Tabla 69: Dimensiones de conducto y accesorios considerados para el cálculo de la pérdida de presión (ht) en los diferentes tramos del SCE_{COV} (ver Figura 54). h1: Pérdidas en tramos rectos por fricción. h2: Pérdidas localizadas por accesorios. h3: Pérdidas por entradas o cambios en la velocidad de transporte. h4: Caída de presión en las unidades de tratamiento (prefiltro de la cabina de pintura, e incinerador térmico). Ref.: [2] [113].

Tramo	Conductos (m)		Accesorios considerados		Pérdidas de presión (mm _{H2O})				
	Long.	Diám.	Descripción de accesorios	ΣKa	h1	h2	h3	h4	ht
1-A	7.80	0.31	(x2) codo 90°	0.54	3.2	3.4	8.0	5.6	20.2
2-A	7.20	0.45	(x1) codo 90° - (x1) empalme 30° c/ codo 60°	0.63	1.8	3.8	7.6	-	13.2
A-B	6.00	0.55	(x1) ensanchamiento - (x2) codo 90°	0.69	1.1	4.1	0.0	-	5.3
B-C	-	-	(x2) acoples y accesorios del ventilador	1.00	-	6.0	0.0	-	6.0
C-D	0.50	0.55	(x1) codo 90° - (x1) estrechamiento	0.40	0.1	1.8	0.0	-	1.9
D-E	-	-	(x1) ensanchamiento brusco	0.30	-	-	-	134.4	134.4
E-F	5.40	0.72	(x1) accesorios descarga doble sección	0.30	1.7	4.3	12.9	-	18.8

Nota: Para asegurar una adecuada dispersión atmosférica de los contaminantes, se definió emplear una chimenea de doble sección (ver Figura Anexo 38), integrada a la salida del incinerador IT, con una descarga 3.00 m por encima del punto más alto del edificio [2] [39]. La elevación total de la chimenea se estimó en **9.00 m** respecto al nivel del piso (H_{sCOV}).

Nota: La caída de presión vinculada al prefiltro de la cabina de pintura (h4 del tramo 1-A) se obtuvo a partir de los datos relevados para un filtro comercial laberintico de papel plisado, modelo APP25, recomendado por el proveedor para operaciones de pintado con spray (ver Figura Anexo 41). La pérdida de carga considerada fue de 5.6 mm_{H2O}, reportada para una velocidad de paso de 1.00 m/s a través del filtro.

Ventilador de impulsión

Se plantea la instalación de un ventilador centrífugo, capaz de asegurar la circulación del aire y vencer las resistencias del SCE_{COV}. La potencia requerida en dicho equipo (P_{mVCOV}) se calculó con [Ec. 174] y [Ec. 176], de forma análoga al caso del SCE_{MP}. Se consideró una eficiencia mecánica del **65%** (η_{mVCOV}), un caudal de aire de **2.35 m³/s** (Q_{aVCOV}), y se usaron las alturas de presión estática (h_{E_VCOV}) y dinámica (h_{D_VCOV}) en la sección de entrada y de salida del ventilador (ver Anexo V). El valor obtenido para P_{mVCOV}, fue de **6.63 kW**.

El ventilador elegido para impulsar el aire a través del SCE_{COV}, fue un **Casals MTRM 710**. Dicho modelo cuenta con un motor de 7.5 kW de potencia (P_{otVCOV}), diámetro de entrada igual a 505 mm y salida de 569x404 mm (comparables al diámetro de troncal adoptado para SCE_{COV}, de 0.55 m). Su operación se proyectó a 1400 rpm, con un caudal de aire igual a Q_{aVCOV} (ver especificaciones y punto de operación del ventilador en la Figura Anexo 40).

Resumen del diseño de la instalación

Tabla 70: Sistema de captación y extracción de las emisiones de COV provenientes de la etapa de terminación.

Sistema de conductos		
Velocidad de transporte (m/s)	v_{tCOV}	10 (conductos) - 15 (chimenea)
Diámetro de ramales (m)	$D_{SCE\ COV\ Ri}$	0.31 (tramo 1-A) - 0.45 (tramo 2-A)
Diámetro de troncales (m)	$D_{SCE\ COV\ Ti}$	0.55 (conductos) - 0.72 (chimenea)
Longitud total ramales (m)	$\Sigma L_{SCE\ COV\ Ri}$	7.80 (tramo 1-A) - 7.20 (tramo 2-A)
Longitud total troncales (m)	$\Sigma L_{SCE\ COV\ Ti}$	6.50 (conductos) - 5.40 (chimenea)
Ventilador centrífugo		
Marca y modelo		Casals - MTRM 710
Caudal operativo (m ³ /s)	$Q_{av\ COV}$	2.35 (20°C y 1 atm)
Potencia del motor (kW)	$Pot_{v\ COV}$	7.5
Revoluciones ventilador (rpm)	$RPM_{v\ COV}$	1400
Altura de presión (mmH ₂ O)	$ht_{v\ COV}$	186.6

Sondeo Etapa I

Los sistemas de ventilación localizada propuestos, tanto para las emisiones vinculadas a la etapa de pulido (SVL_{MP}) como de terminación (SVL_{COV}), se evaluaron mediante la aplicación de un modelo de dispersión atmosférica tipo Etapa I (Sondeo simple). El procedimiento empleado se detalla en el Anexo III de la Resolución N° 559/19 del OPDS (ver Anexo VI). Los contaminantes modelados fueron aquellos listados en la Tabla 15: Material Particulado MP10, metanol, metiletilcetona (MEK), tolueno y xileno. La planilla completa de cálculos se presenta en el Anexo VI.

Condiciones de descarga para los sistemas de ventilación localizada propuestos

La corrida de un modelo tipo Etapa I (Sondeo simple) requiere conocer el caudal másico de emisión del contaminante evaluado (Q_m), la altura y diámetro de la chimenea de descarga ($H_s - D_s$), y la temperatura y velocidad de los gases de salida ($T_s - V_s$). Estos parámetros se recopilaron en la Tabla 71, para MP10, metanol, MEK, tolueno y xileno.

El cálculo del caudal másico Q_m promedio, para cada uno de los contaminantes evacuados por los sistemas de ventilación localizada SVL_{MP} y SVL_{COV} , se presenta a continuación:

$$[\text{Ec. 193}] \quad Q_{m_{MP10}} = MP_{SC} * NdQ_{SMP} \qquad [\text{Ec. 194}] \quad Q_{m_{COV\ i}} = NdQ_{S_{COV}} * COV_{S_{IT\ i}}$$

$$[\text{Ec. 195}] \quad NdQ_{S_{COV}} = Q_{S_{IT}} * (P_{gas_{COV}}/1\ atm) * (273\ K/T_{S_{IT}}) * (1 - Bw_{IT}/100\%)$$

Donde:

- $Q_{m_{MP10}}$ [mg/s]: Caudal másico de emisión de MP10 (asociado a SVL_{MP}) - **13.9 mg/s**.
- $Q_{m_{COV_i}}$ [mg/s]: Caudal másico de emisión del compuesto i (asociado a SVL_{COV}) - **Metanol / MEK / Tolueno / Xileno: 242.3 mg/s**.
- $NdQ_{s_{COV}}$ [Nm^3/s]: Caudal de aire seco egresando del SVL_{COV} , expresado en CNPT (Condiciones Normales de Presión y Temperatura) ($0^\circ C$ y 1 atm) - **2.05 Nm^3/s** .
- $MP_{s_{SC}}$ [mg/ Nm^3]: Concentración de MP10 saliendo del SC en CNPT - 13.3 mg/ Nm^3 .
- $NdQ_{s_{MP}}$ [Nm^3/s]: Caudal de aire seco egresando del SVL_{MP} en CNPT (se consideró igual a $NdQ_{in_{SC}}$, obtenido con la ecuación [Ec. 166]) - 1.05 Nm^3/s .
- $COV_{s_{IT_i}}$ [mg/ Nm^3]: Concentración del compuesto i en la salida del IT, expresado en CNPT - Metanol / MEK / Tolueno / Xileno: 118 mg/ Nm^3 .
- $Q_{s_{IT}}$ [m^3/s]: Caudal total de gas egresando del IT (ver [Ec. 190]) - 6.20 m^3/s .
- $P_{gas_{IT}}$ [atm]: Presión considerada para el gas egresando del SVL_{COV} - 1 atm.
- $T_{s_{IT}}$ [$^\circ K$]: Temperatura de la corriente saliendo del IT (ver [Ec. 191]) - $761^\circ K$ ($488^\circ C$).
- BW_{IT} [% vol]: Porcentaje de vapor en la corriente de ingreso al IT (valor adoptado de ref. [14], para una corriente proveniente de un túnel de secado de terminación) - 8%.

Tabla 71: Parámetros de entrada considerados en la corrida del modelo Etapa I (Sondeo simple), aplicado sobre los sistemas de ventilación SVL_{MP} y SVL_{COV} . Compuestos considerados: MP10, metanol, metiltilcetona (MEK), tolueno y xileno.

Compuesto		MP10	Xileno	Metanol	MEK	Tolueno
Caudal másico de emisión (mg/s) (**)	Q_m	13.9	242.3 (*)	242.3 (*)	242.3 (*)	242.3 (*)
Altura de chimenea (m)	H_s	9.00 ($H_{s_{MP}}$)	9.00 ($H_{s_{COV}}$)			
Temperatura del gas en la chimenea ($^\circ K$)	T_s	293 ($T_{gas_{SC}}$)	761 ($T_{s_{IT}}$)			
Diámetro de chimenea (m)	D_s	0.31 ($D_{s_{CE\ MP\ E-F}}$)	0.72 ($D_{s_{CE\ VOC\ E-F}}$)			
Velocidad de salida de los gases (m/s)	V_s	14.9 ($v_{t_{MP\ E-F}}$)	15.2 ($v_{t_{VOC\ E-F}}$)			

(*) Se consideró situación límite, en la que el total de los COVs liberados se conforma exclusivamente por el contaminante evaluado.

(**) Los valores Q_m reportados refieren a caudales másicos medios, generados durante el horario de operación de Encuerado (lunes a viernes, de 8:00 a 17:00 h) y captados por el respectivo sistema de ventilación localizada.

Concentración de fondo considerada

Para considerar una concentración de fondo como válida, su determinación debe realizarse siguiendo metodologías de muestreo y análisis de referencia automáticos, y su medición debe extenderse por un período mayor a un año [39]. En línea con lo expuesto, no fue posible hallar una concentración de fondo válida para los contaminantes evaluados, dentro del área de influencia considerada (partido de Lanús). Por este motivo, se decidió comparar el valor límite normado (ver Tabla 15) con la concentración calculada mediante los pasos 1° a 8° de la Resolución N° 559/19 de OPDS (no se suma una concentración de fondo).

Resultados obtenidos

En cada caso evaluado, se verificó una concentración máxima ($C_{máx_i}$) **menor** al valor límite establecido por el Decreto N° 1074/18 del OPDS (ver Tabla 73). Se considera entonces que los sistemas de ventilación y tratamiento diseñados habilitan a la firma *Encuerado* a obtener una Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA).

Tabla 72: Resultados obtenidos en la corrida del modelo Etapa I (Sondeo simple), aplicado sobre los sistemas SVL_{MP} y SVL_{COV}.

Compuesto		MP10		Xileno	Metanol	MEK	Tolueno
Valor límite normado (mg/Sm ³)	Clim	0.150	0.050	5.200	3.100	0.390	1.400
Concentración total estimada	Cmáx	0.047	0.009	0.043	0.043	0.025	0.043

Capital de inversión y operación

En la presente sección, se realizó una estimación del capital requerido para llevar adelante las fases de construcción y operación del sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada, diseñados en el presente PFI. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 73. La planilla completa de cálculos se presenta en el Anexo VII.

Tabla 73: Capital de inversión y operación requerido para los sistemas de tratamiento y de ventilación localizada diseñados.

Tipo de costo		Parcial	Total	Total + IVA
Costos de inversión (fijos)	Tareas preliminares	42,583 USD	449,063 USD	543,367 USD
	Adquisición de hormigón y recubrimiento	154,022 USD		
	Tareas de movimiento de suelos	12,914 USD		
	Adquisición de conducciones	2,393 USD		
	Adquisición de equipamiento especial	9,227 USD		
	Adquisición de equipamiento electromecánico	227,925 USD		
Costos operativos (variables)	Consumo de electricidad	4,715 USD/mes	37,397 USD/mes	45,250 USD/mes
	Consumo de gas	3,846 USD/mes		
	Consumo de reactivos	9,487 USD/mes		
	Mano de obra	9,312 USD/mes		
	Gestión de lodos	10,036 USD/mes		

Costos de inversión

Se estimó el costo de inversión asociado a la construcción y montaje de las unidades de tratamiento diseñadas. Los elementos considerados, fueron los siguientes:

- Tareas preliminares, incluyendo la instalación del obrador, el alquiler de los sistemas de seguridad e higiene, la gestión de seguros y documentación habilitante, etc.

- Construcción de las unidades de tratamiento diseñadas, contemplando estructuras de hormigón armado, el recubrimiento del interior de las unidades con pintura epoxi impermeabilizante, y los movimientos de suelo requeridos.
- Adquisición de las conducciones necesarias para transportar el efluente líquido y manejar el aire a través de los sistemas de tratamiento y ventilación diseñados.
- Adquisición de equipamiento especial diseñado en la memoria de cálculo, entre los que se mencionan las placas perforadas para el ingreso del efluente, las pantallas deflectoras, los difusores de burbuja gruesa y fina, entre otros.
- Adquisición del equipamiento electromecánico elegido en la memoria de cálculo, como lo son las bombas y ventiladores de impulsión, los sistemas de aireación y de mezcla para efluentes, y el incinerador térmico para tratar las emisiones de COVs.

Costos operativos

Se estimó el costo asociado a la operación mensual de la planta de tratamiento de efluentes y del sistema de ventilación localizada diseñados. Los componentes considerados, fueron: mano de obra, gestión de lodos, y consumo de energía eléctrica, de gas y de reactivos.

Como resultado, se obtuvo un costo de operación de 8.67 USD/m³ de efluente tratado, el cual consideró un caudal de 5218 m³/mes de efluente a tratar.

Nota: La instalación de una unidad para la recuperación del cromo presente en los barros deshidratados de la línea de curtido y recurtido representa un potencial elemento para amortizar el costo de operación de la planta de tratamiento diseñada.

Mano de obra

Se consideró un equipo de operación y mantenimiento para los sistemas de tratamiento y de ventilación, constituido por: dos ingenieros ambientales, como autoridades de la planta; cinco técnicos operarios; y un encargado de higiene y seguridad. Los salarios de cada puesto fueron estimados en base a la oferta hallada para puestos equivalentes [28].

Consumo eléctrico

El costo vinculado al consumo eléctrico de los sistemas diseñados se estimó a partir de la potencia requerida por el equipamiento electromecánico instalado y de sus horas de uso proyectadas. Dicho cálculo se realizó en base al cuadro tarifario de Edesur, para grandes demandas (T3), en horario pico, con potencia contratada media, vigente a partir del 01 de enero de 2025 (Rs. ENRE N° 1060/24) [23]. La expresión utilizada, fue la siguiente:

$$[\text{Ec. 196}] \quad CT_{En} = CF_{En} + CP_{cEn} * Pc_{En} + CP_{aEn} * Pa_{En} + CV_{En} * \sum(Pm_i * Uso_i)$$

Donde:

- CT_{En} [USD]: Costo mensual total vinculado al consumo de energía - **3092.4 USD**.
- CF_{En} [USD]: Costo fijo mensual - 98.6 USD.
- CP_{cEn} [USD/kW]: Costo por potencia contratada (media tensión) - 2.9 USD/kW.
- Pc_{En} [kW]: Potencia contratada, estimada considerando tanto la demanda de la nave industrial de *Encuerado* como de los sistemas de tratamiento diseñados - 200 kW.
- CP_{aEn} [USD/kW]: Costo por potencia adquirida (media tensión) - 2.4 USD/kW.
- Pa_{En} [kW]: Potencia adquirida (máxima demanda registrada durante el mes). Se consideró igual a la potencia contratada - 200 kW.
- CV_{En} [USD/kWh]: Costo variable, para horario pico (8:00 a 17:00) - 0.062 USD/kWh.
- Pm_i [kW]: Potencia mecánica del equipo evaluado - Ver Anexo VII.
- Uso_i [h]: Tiempo de uso mensual del equipo evaluado - Ver Anexo VII.

Consumo de gas

El costo vinculado al consumo de gas del incinerador térmico IT se obtuvo en base al cuadro tarifario de Metrogas, para grandes usuarios abastecidos con gas natural, categoría SGP2 (1000 a 9000 m³/mes), radicados en la provincia de Buenos Aires, vigente a partir del 01 de enero de 2025 [57]. El cálculo realizado, fue el siguiente:

$$[\text{Ec. 197}] \quad CT_{GN} = CF_{GN} + CV_{GN} * SQ_{fIT} * \frac{3600 s}{1 h} * Uso_{IT}$$

Donde:

- CT_{GN} [USD]: Costo mensual total vinculado al consumo de gas - **3845.9 USD**.
- CF_{GN} [USD]: Costo fijo mensual - 98.6 USD/mes.
- CV_{GN} [USD/Sm³]: Costo variable, para usuarios SGP2 - 0.16 USD/Sm³.
- SQ_{fIT} [Sm³/s]: Caudal de gas natural a ser inyectado en la unidad IT, en condiciones estándares de presión y temperatura (CSPT) (25°C y 1 atm). - **0.043 Sm³/s**.
- Uso_i [h]: Tiempo de uso mensual del incinerador térmico (se estima que el equipo es usado únicamente durante la jornada laboral de *Encuerado*) - Ver Anexo VII.

Consumo de reactivos

Los reactivos químicos considerados en el análisis de costos, fueron: hidróxido de calcio para albañilería (agente precipitante de cromo), sulfato de aluminio 17% m/m (agente

coagulante) y PAC 30% m/m (agente floculante). El precio hallado para cada insumo se detalla en el Anexo VII. La cantidad requerida de cada reactivo, se obtuvo a partir de la memoria de cálculo de las operaciones de precipitación de cromo (línea de) y de coagulación y floculación (línea de terminación).

Gestión de los barros generados

Se prevé la contratación de una empresa transportista, inscripta en el Registro Provincial de Generadores y Operadores de Residuos Especiales (Rs. N° 578 - ref. [30]), que traslade los barros generados en la planta de tratamiento de efluentes a un sitio de disposición adecuado para tal fin. Los costos contemplados en dicha gestión, incluyen: la adquisición de tambores para la contención y diferenciación de las corrientes de lodo (cromados y mixtos); el transporte de los tambores acopiados; y la entrega a un gestor autorizado de residuos peligrosos (Rs. N° 578). La frecuencia de retiro considerada fue mensual.

Análisis de costos

A modo comparativo, se contrastó el monto de inversión requerido para la construcción de los sistemas de tratamiento diseñados (ver Tabla 73) con el valor de una posible multa que podría percibir *Encuerado* en caso de incumplir con los valores límite de vuelco presentados en la Tabla 11. La fórmula utilizada para calcular el apercibimiento se extrajo del Anexo II de la Resolución de ACUMAR N° 12/2019, la cual se presenta a continuación:

$$[\text{Ec. 198}] \quad \text{Multa} = UR * FR * MACUMAR * 20$$

Donde:

- Multa [USD]: Valor estimado de la multa percibida por vuelco de efluentes líquidos sin tratar a la colectora cloacal - **218,988.0 USD**.
- UR [USD]: Unidad Retributiva, tomada de la Rs. N° 12/2019 de ACMAR - 0.49 USD.
- FR: Factor de Reincidencia, estimada en base a la Rs. N° 12/2019 de ACMAR - 3.
- MACUMAR: módulo ACUMAR, calculado en base a la Rs. N° 12/2019 - 7500.

Como resultado, se obtuvo que el costo de inversión estimado equivale al valor de 2.51 multas. Asimismo, pudo observarse que la operación de la planta por 5 meses equivale al valor calculado para la penalización.

Nota: El valor obtenido de multa no considera el incumplimiento del Decreto N° 1074/18, cuyo régimen sancionatorio se encuentra a cargo de la Autoridad de Aplicación.

Estudio de Impacto Ambiental

Introducción

Se confeccionó un Estudio de Impacto Ambiental (EslA), con el fin de evaluar la viabilidad socioambiental de la construcción y operación de los sistemas de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada diseñados para *Encuerado*, en caso de ser ejecutados.

El proceso de elaboración del EslA comenzó con la búsqueda y recopilación de normativa, tal de conformar un marco legal para el proyecto. También se confeccionó la línea de base para el área de influencia determinada, permitiendo caracterizar los factores ambientales proclives a ser afectados. En base a esta información, se identificaron posibles impactos del proyecto y se los valoró mediante la construcción de una matriz tipo Leopold.

Finalmente, se elaboró un Plan de Prevención y Mitigación, el cual incluye medidas para minimizar los efectos de los impactos negativos identificados.

Marco legal e institucional

El proyecto evaluado en el presente EslA tiene lugar en Valentín Alsina, partido de Lanús (ver Figura 1). Las autoridades de aplicación con jurisdicción en dicha zona, que regulan aspectos relacionados a los estudios ambientales, son: la Autoridad de cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR) y el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Bs. As. (MAPBA). La normativa socioambiental pertinente al proyecto, se presenta en las siguientes tablas:

Tabla 74: Normativa de marco general y referida a impacto ambiental. Fecha de elaboración: diciembre 2024.

Legislación nacional	
Constitución Nacional	Art. 41: Reconoce el derecho a un Ambiente Sano y equilibrado - Art. 124: Las provincias conservan el dominio originario de los recursos naturales que se encuentren en su territorio.
Ley N° 19.587/72	Ley General de Higiene y Seguridad Laboral.
Ley N° 24.557/95	Ley de prevención de riesgos del trabajo. Seguro por accidentes y enfermedades laborales.
Ley N° 25.675/02	Ley General del Ambiente. Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente. Fija como uno de los instrumentos de la política y la gestión ambiental la Evaluación de Impacto Ambiental.
Ley N° 25.831/03	Establece los presupuestos mínimos para garantizar el libre acceso a la información ambiental.
Ley N° 26.168/06	Sobre la creación de la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR).
Decreto N° 1.638/12	Establece la reglamentación del Seguro Ambiental Obligatorio (SAO), siendo este la garantía financiera exigible a toda persona física o jurídica, pública o privada que realice actividades riesgosas para el ambiente, los ecosistemas y sus elementos constitutivos.

Decreto N° 33/24	Reorganización de la Administración Nacional centralizada, designándose la Subsecretaría de Ambiente como ente encargado de asistir en la formulación, implementación y ejecución de la política ambiental y su desarrollo sostenible.
Rs. N° 101/24	Delegación de Facultades - Subsecretaria de Ambiente.
Normativa provincial	
Constitución Provincial	Art. 28: Reconoce el derecho de los habitantes de la provincia a gozar de un ambiente sano, y el deber de conservarlo y protegerlo en su provecho y en el de las generaciones futuras. La Provincia ejerce el dominio eminente sobre el ambiente y los recursos naturales de su territorio.
Ley N° 11.723/95	Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Declaración de Impacto Ambiental.
Resolución N° 165/10	Establece la obligación de contratar un seguro para garantizar el financiamiento de la recomposición del daño ambiental.
Ley N° 14.343/11	Regulación de la identificación de los pasivos ambientales y la obligación de componer sitios contaminados o áreas con riesgo para la salud de la población.
Resolución N° 492/19	Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y los requisitos para la obtención de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), en el marco de la Ley N° 11.723.
Ley N° 15.477/23	Reorganización de la Administración Pública Provincial, designándose el Ministerio de Ambiente como Autoridad de Aplicación de la Ley N° 11.723/95.

Tabla 75: Normativa referida a la gestión de residuos sólidos. Fecha de elaboración: diciembre 2024.

Legislación nacional	
Ley N° 23.922/91	Aprueba el Convenio de Basilea (1992) sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
Ley N° 24.051/91	Ley de Residuos Peligrosos: Establece etapas de generación, manipulación, transporte y tratamiento. Reglamentado por el Decreto N° 831/93.
Resolución N° 224/94	Define los residuos peligrosos en términos de niveles de riesgo. Establece los parámetros y normas técnicas que deben tenerse en cuenta.
Ley N° 25.612/02	Establece presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios. Deroga el art. 60 de la ley 24.051.
Resolución N° 410/18	Norma técnica para el manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales.
Resolución N° 263/21	Aprueba el listado operativo de residuos peligrosos abarcados por las categorías sometidas a control previstas en la ley N° 24.051.
Normativa provincial	
Ley N° 11.720/95	Regula la manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos especiales en el territorio de la Provincia de Bs. As.
Rs. N° 63/96	Transporte de Residuos Especiales y/o Industriales.
Rs. N° 578/97	Registro provincial de Generadores, Operadores y Transportistas de Residuos Especiales.
Resolución N° 592/00	Almacenamiento transitorio de residuos especiales en establecimientos generadores: Requisitos técnicos a cumplir y registro de operaciones.
Resolución N° 665/00	Uso obligatorio de los Formularios de Certificado de Tratamiento de Residuos, Certificado de Disposición Final de Residuos Especiales y de Certificado de Operación de Residuos.
Rs. N° 2.148/01	Centros de tratamiento de disposición final de residuos especiales, industriales y patogénicos.

Rs. N° 899/05	Almacenamiento de los residuos especiales.
Decreto N° 650/11	Reglamentación de la ley N° 11.720/95 (modifica al decreto provincial N° 806/97).

Tabla 76: Normativa referida a la gestión de emisiones gaseosas y efluentes líquidos. Fecha de elaboración: diciembre 2024.

Legislación nacional	
Ley N° 20.284/73	Establece un plan de prevención de situaciones críticas de contaminación atmosféricas.
Decreto N° 674/89	Establece el régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos residuales o barros originados por la depuración de aquellos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua.
Decreto N.º 776/92	Asigna a la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano el control de la contaminación de las aguas y preservación de los recursos hídricos.
Ley N° 25.688/02	Establece presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. comités de cuencas hídricas.
Normativa provincial e interjurisdiccional	
Ley N° 5.965/58	Protección a las fuentes de provisión, los cursos y cuerpos receptores de agua, y la atmósfera.
Resolución OSN N°79.179/90	Aprueba Disposiciones Instrumentales para el régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y especiales que produzcan vertidos residuales o barros originados por la depuración de aquéllos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua.
Decreto AySA N°999/92	Reglamento de los distintos aspectos de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales de competencia de Obras Sanitarias de la Nación.
Ley N° 12.257/99	Establece régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia. Modificada por las leyes N° 14.520/13, 14.703/15 y 14.873/17.
Resoluciones ADA 336/03 y 335/08	Monitoreo de efluentes líquidos. Parámetros de calidad.
Rs. ACUMAR N° 002/2007	Aprueba la Tabla de Parámetros para Medición de Calidad de Aire, para su aplicación en el ámbito territorial de la cuenca Matanza Riachuelo.
Decreto N° 1074/18	Decreto reglamentario de la Ley 5.965. Establece valores norma para estándares en calidad de aire, y niveles guía de calidad de aire ambiente contaminantes específicos.
Rs. N° 559/19	Reglamentación del Decreto N° 1074/18. Licencia Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA).
Rs. ACUMAR N° 283/2019	Aprueba la tabla consolidada de límites admisibles para descargas de efluentes líquidos, para su aplicación en el ámbito territorial de la cuenta Matanza Riachuelo.

Nota: Aquellas normas usadas en el diseño de los sistemas de tratamiento y de ventilación, fueron identificadas previamente en la sección Caracterización de la empresa *Encuerado*.

Descripción del Proyecto

Descripción general

La curtiembre teórica *Encuerado* produce 30 artículos diferentes de cuero vacuno, en una planta ubicada en Valentín Alsina, Buenos Aires (ver Figura 1). Como parte de su proceso productivo, la empresa realiza el curtido, recurtido y terminación de las pieles, generando como resultado aguas residuales con alta carga de contaminantes (incluyendo compuestos

orgánicos, pH ácido, cromo, sales y sólidos suspendidos) y liberando emisiones gaseosas al aire del ambiente laboral (entre los que se mencionan Material Particulado y Compuestos Orgánicos Volátiles). El proyecto propuesto consiste entonces en la instalación y operación de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada para la firma.

El sistema de tratamiento de efluentes proyectado considera una segregación inicial de las aguas residuales en tres corrientes semejantes: línea de curtido y recurtido, de terminación, y cloacal. Las unidades de adecuación incluyen un sistema de desbaste por rejillas y tamiz, un sistema de remoción de grasas y aceites por flotación, un precipitador de cromo seguido de un sedimentador, y una etapa de remoción de carga orgánica y nitrógeno compuesta por una cámara anóxica, un reactor de lodos activados y un sedimentador secundario. A su vez, se contemplaron unidades para el tratamiento de los barros generados: espesador, digestor y filtro prensa. Se realiza una distinción entre la gestión de lodos cromados y lodos mixtos, tratando a los primeros como residuos especiales clase Y18 (ver Figura 14).

Por su parte, el sistema de ventilación localizada proyectado busca controlar las emisiones de MP generadas durante el pulido del cuero, así como también los COVs emitidos en la etapa de terminación. Las unidades de tratamiento contempladas fueron un separador ciclónico y un incinerador térmico recuperativo, respectivamente (ver Figura 17 y Figura 18).

La ejecución del proyecto descrito permitirá a la empresa cumplir con las concentraciones máximas permitidas de vuelco a colectora cloacal y con los valores límite en calidad de aire establecidos por normativa (ver Tabla 11 y Tabla 15). Asimismo, el sistema de ventilación reducirá el riesgo de emisión de contaminantes gaseosos al aire del ambiente laboral.

Etapas del proyecto

El proyecto descrito fue estructurado en dos etapas de ejecución: construcción y operación. Las tareas o actividades previstas en cada etapa, se desarrollan a continuación.

Construcción

La etapa de construcción abarca aquellas tareas orientadas a instalar los sistemas de tratamiento de efluentes y de ventilación proyectados. Se mencionan las siguientes:

- Relevamiento del terreno e infraestructura existente en el área de obra.
- Instalación del obrador provisorio, incluyendo campamento y galpones de recepción y acopio de herramientas, maquinarias, insumos de construcción y residuos.

- Preparación del terreno, contemplando el desmalezamiento y el emparejamiento del terreno que ocupará la construcción hasta llegar a la cota de nivel solicitada.
- Replanteo del terreno y trazado de los ejes guía para la realización de la obra.
- Trabajos de movimiento de suelos y demoliciones, incluyendo excavaciones para fundaciones e instalaciones sanitarias (gas, cloacal y pluvial), eléctricas, etc.
- Construcción, montaje y acabado de las unidades de tratamiento que conforman los sistemas proyectados. Se contempla el transporte de unidades prefabricadas, así como también el montaje en planta a cargo del respectivo proveedor contratado.
- Instalación de cañerías, conductos y otras estructuras especiales (como válvulas y otros accesorios), que comunican las diferentes unidades de tratamiento.
- Instalación eléctrica y de equipamiento electromecánico, incluyendo sopladores y compresores de aire, agitadores mecánicos, ventiladores de impulsión, bombas, barredores de fondo y de superficie, entre otros.

Se estimó 1 año de duración para la etapa de construcción. La misma debe realizarse por personal capacitado, siguiendo manuales de buenas prácticas. Requiere de una flota de camiones de carga pesada para el transporte de materiales de construcción y maquinaria especializada para la modificación del terreno y cimentación (retro excavadoras, topadoras, compactadoras, pavimentadoras y camiones mezcladores de hormigón).

Operación

La etapa de operación está ligada a las tareas de puesta en marcha y al uso normal del sistema de tratamiento de efluentes y de ventilación proyectados. Se mencionan:

- Pruebas hidráulicas y testeos de los equipos instalados.
- Puesta a punto de los sistemas instalados: en el caso de los reactores biológicos, se requiere desarrollar la biomasa activa mediante la inoculación con efluentes cloacales y con barros secundarios provenientes de otras industrias; en el caso del incinerador térmico, se requiere alcanzar la temperatura de combustión de diseño.
- Operación normal del sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada: se estima un consumo de 71.2 kg/h de hidróxido de calcio (precipitante de cromo); 108 g/h de sulfato de aluminio (coagulante); 129 g/h de PAC (floculante); y 153 Sm³/s de gas natural en el incinerador. También debe incluirse el consumo asociado a los agentes reguladores de pH (ácido sulfúrico e hidróxido de sodio).
- Mantenimiento y limpieza de las instalaciones y de los equipos instalados.

- Gestión de los barros deshidratados: se generan 0.41 - 0.42 m³/d de lodos mixtos y 0.35 m³/d de barros con cromo (los cuales son tratados como residuo especial).

La duración de la etapa está ligada al tiempo de producción proyectado para la empresa *Encuerado*, el cual se estimó en al menos 30 años.

Línea de base del proyecto

Área de influencia del proyecto

El área de influencia (AI) adoptada para el proyecto fue una circunferencia de 2 km de radio, centrada en la nave de producción de *Encuerado* (ver Figura 1), la cual abarca el territorio del departamento de Valentín Alsina y parte del partido de Lanús. El AI definido se enmarca en la Cuenca Matanza-Riachuelo (CMR) y se circunscribe dentro del radio de validez del modelo de dispersión atmosférica tipo Etapa I, implementado en la sección de evaluación del sistema de ventilación localizada, según reporta la Rs. N° 559/19 de OPDS.

Línea de base del medio fisicoquímico

Caracterización climática

La planta productiva de *Encuerado* se emplaza en la Pampa Ondulada, región con clima templado-húmedo, inviernos suaves y veranos calurosos. La temperatura media anual es de 16.9°C, con una máxima media anual de 22.6°C (enero) y una mínima de 11.4°C (julio). El valor medio anual de precipitaciones acumuladas es de 1072.5 mm, siendo mayores para los meses más cálidos y menores para los meses más fríos (ver Figura 55). La frecuencia media anual de días con precipitaciones mayores a 0.1 mm es de 93.2 días. Con respecto a la humedad relativa del aire y presión atmosférica, los valores medios anuales son de 73.9% (cercano a la saturación) y 1013.4 hPa, respectivamente [11] [85].

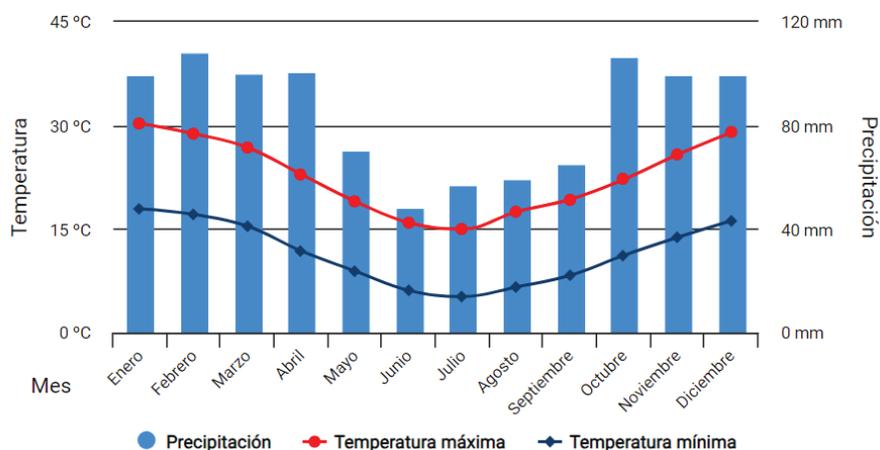


Figura 55: Valores Medios de Temperatura y Precipitación registrados por la estación meteorológica EZEIZA AERO (Lat.: 34°49'S; Long.: 58°32'O; Alt.: 20 msnm), para el período temporal 1991-2020. Ref.: [85].

La región se encuentra afectada por vientos permanentes provenientes del Atlántico Sur y por vientos locales que producen efectos regionales, como la Sudestada, el Pampero y el Viento del Norte. La velocidad media anual de los vientos en el AI es de 12,3 km/h. Los más frecuentes provienen del NE, con una velocidad media anual de 13,9 km/h. Le siguen los vientos del SE, Sur y Este, con velocidades medias anuales de 13,8 km/h [11] [85].

Estratigrafía

La zona estudiada se localiza en la porción nororiental de la provincia de Buenos Aires, en la provincia geológica Llanura Chaco-pampeana. La geología del área está constituida por depósitos sedimentarios continentales intercalados con depósitos marinos, que se asientan sobre un relieve fracturado del basamento cristalino, y que representan un ciclo geológico de sedimentación ocurrido en distintos momentos de la historia de la región [49].

La siguiente tabla presenta una columna estratigráfica realizada en 2022 para el partido de Lanús, tomada de ref. [49], la cual se considera representativa para el AI del proyecto.

Tabla 77: Columna estratigráfica del partido de Lanús. Extraída de Ref. [49].

Estratigrafía	Profundidad	Litología	Edad
Formación Aluvial o Aluviones modernos.	Superficial.	Aluvio actual - Rellenos actuales urbanos, sedimentos edafizados, aluviones modernos.	Presente - Holoceno.
Sedimentos Postpampeanos "Querandinense".	Subsuperficial (NE del partido de Lanús).	Limos arenosos y arcillosos, de color verde grisáceo azulado, con escasos restos fósiles.	Holoceno - Pleistoceno superior.
Sedimentos Pampeanos (Fm. Buenos Aires y Ensenada).	Subsuperficial (centro y SO del partido de Lanús).	Manto de loess uniforme, de grano fino y homogéneo, de color pardo rojizo. Limos arenosos, rojos pardos y verdosos.	Pleistoceno superior - inferior.
Formación Puelches.	Profundo (-21 a -49 msnm).	Arcilla gris verdosa.	Plioceno.
		Arenas finas y medianas, con intercalaciones de arcilla y limos.	
		Arena fina, mediana y gruesa cuarzosa micácea, de grano pardo amarillento.	
Formación Paraná o "El Verde".	Profundo (-49 a -115 msnm).	Arcilla gris azulada y verdosa. Niveles inferiores arenosos finos. Niveles medianos con fósiles marinos.	Mioceno superior - inferior.
Formación Olivos o Mioceno Rojo	Profundo. (-115 m a -354 msnm).	Arcillas y areniscas rojas, con estratos y carbonato de calcio. Arena mediana.	Mioceno inferior – Oligoceno.
Basamento Cristalino o Formación Martín García	Profundo (mayor a -354 msnm).	Rocas ígneas y metamórficas (granito y gneises).	Precámbrico.

Nota: El perfil estratigráfico subsuperficial del AI ha sido intensamente modificado por las actividades antrópicas e industriales, presentes y pasadas. La composición y naturaleza de los suelos es enmascarada por la urbanización (pavimentos, construcciones, etc.) [49].

Geomorfología

Geomorfológicamente, la zona litoral de la provincia de Buenos Aires puede ser separada en dos ambientes diferenciados: la terraza baja, que bordea el Río de la Plata sin superar los 5 msnm; y la terraza alta occidental, con alturas mayores a 5 msnm, caracterizada por una morfología ondulada (suaves lomadas irregulares y separadas) [11] [49]. El predio de *Encuerado* se localiza en la terraza baja, sobre la llanura de inundación del Riachuelo.

La morfología del AI se halla fuertemente modificada por la urbanización: cuenta con zonas bajas y bañados que han sido rellenados, así como también cursos de agua canalizados y/o entubados. Existe una pendiente regional de SE a NO (hacia el Riachuelo), con alturas máximas desde los 12.5 m IGN y mínimas de 3.75 m IGN (ver Figura 56) [11] [49].

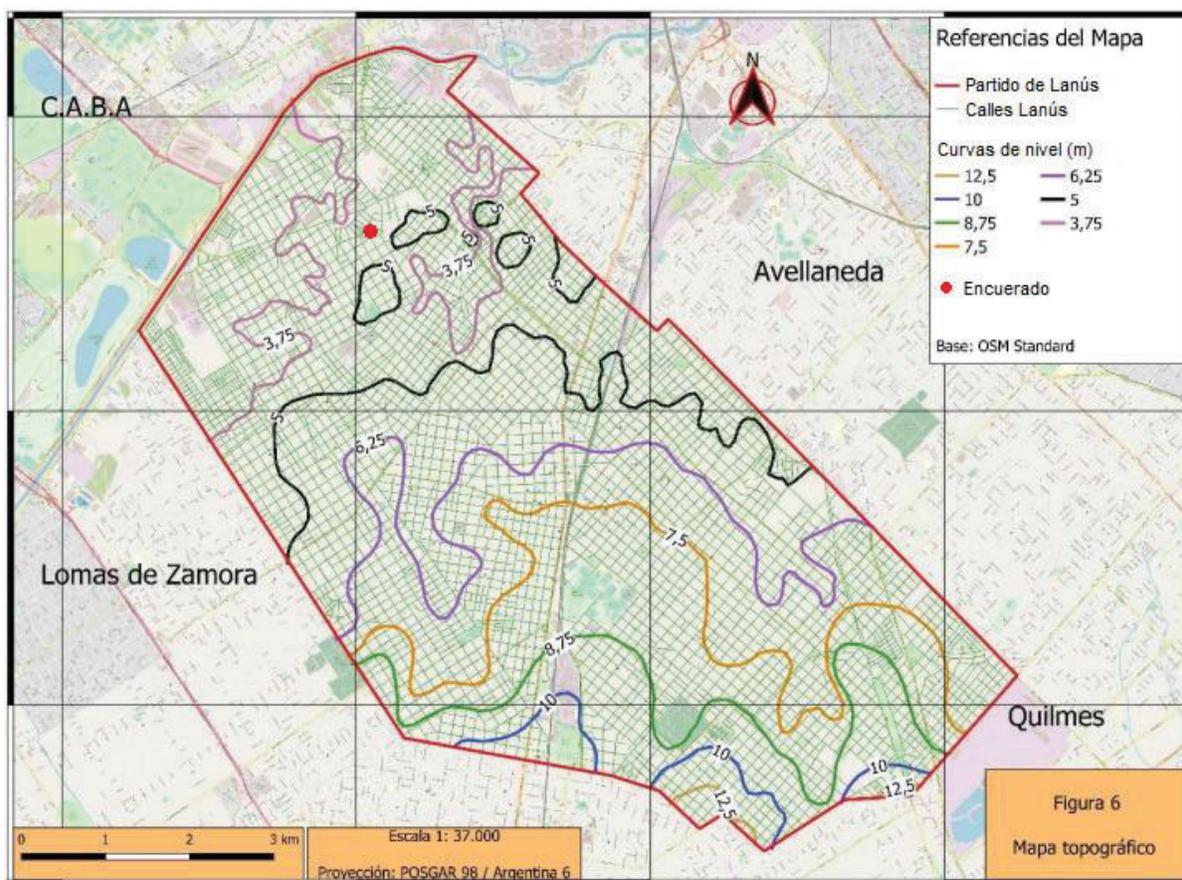


Figura 56: Mapa topográfico - Curvas de nivel en metros. Adaptada de Ref. [49].

Hidrología superficial

La nave de *Encuerado* se localiza dentro de la cuenca baja del Matanza-Riachuelo, donde el curso de agua recibe el nombre de Riachuelo. Se trata de un río de llanura, con pendiente baja (0,35 m/km) y caudal de agua irregular (puede oscilar entre 3-100 m³/s), cuyo régimen hidráulico se ve afectado por las mareas del Río de la Plata, donde desemboca [7].

Debido a las canalizaciones y entubamientos que se han realizado en la región, existe una ausencia casi total de cursos superficiales a cielo abierto dentro del AI definida, siendo el Riachuelo (en su tramo rectificadado) uno de los cursos observables (ver Figura 57). En este tramo bajo, las aguas del Riachuelo presentan elevados niveles de contaminación vinculada al vertido de residuos sólidos y de efluentes cloacales e industriales sin tratar [9] [11] [49].

La escasa pendiente natural del terreno ocasiona que el agua de las precipitaciones no escurra rápidamente, generando inundaciones y anegamientos urbanos localizados. Esta situación se potencia por el efecto de otros factores, como la presencia de infraestructura que no respeta una planialtimetría adecuada, y el fenómeno de sudestada que dificulta el desagüe normal del Río de la Plata y eleva el nivel de agua del Riachuelo [9] [11] [49].

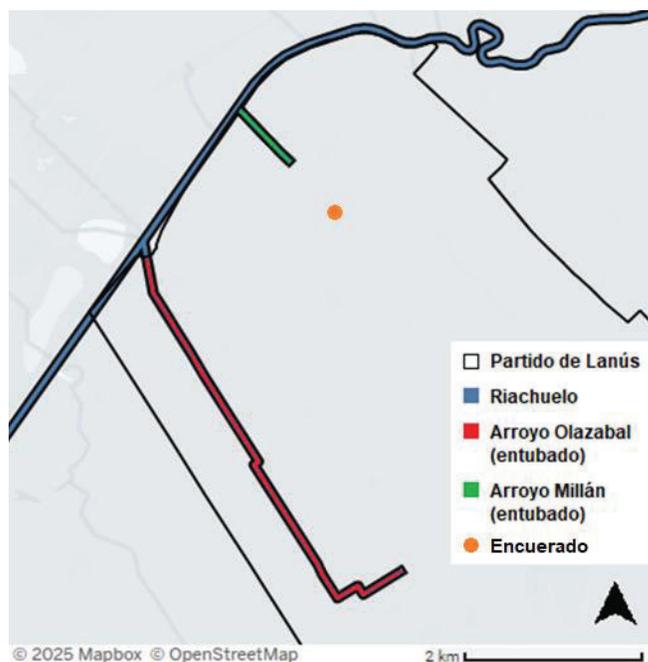


Figura 57: Red hídrica del partido de Lanús. Azul: Riachuelo. Rojo: Arroyo Olazabal (entubado). Verde: Arroyo Millán (entubado). Naranja: Nave industrial de *Encuerado*. Adaptado de Ref.: [7].

Hidrología subterránea

El área de estudio se localiza en la Llanura Pampeana, en una zona altamente antropizada. La profundidad del freático oscila entre 1 y 1,5 metro por debajo del nivel del terreno. Las unidades que componen el sistema hidrogeológico analizado son las siguientes [11]:

Tabla 78: Hidrogeología del partido de Lanús. Extraída de Ref. [49].

Estratigrafía		Litología	Comportamiento hidrogeológico
Sedimentos Postpampeanos.	Sup.	Limos arenosos y arcillosos de color verde grisáceo azulado con escasos restos fósiles.	Zona No-Saturada (ZNS).
	Inf.		Acuícludo-Acuitardo / Acuífero freático libre (semiconfinado).
Sedimentos Pampeanos.	Sup.	Limos loessoides, arenosos y arcillosos, calcáreos.	Acuífero freático libre.
	Inf.	Limos arcillosos. Arcillas.	Acuífero semiconfinado.
Formación Puelches.		Arenas medianas a finas -gruesas.	Acuífero semiconfinado.
Formación Paraná o "El Verde".	Sup.	Arcillas verdes, verde-azuladas.	Acuícludo.
	Inf.	Arenas medianas a finas, marinas.	Acuitardo / Acuífero confinado.
Formación Olivos o Mioceno Rojo o "ElRojo".	Sup.	Arcillas rojas.	Acuícludo.
	Inf.	Arenas medianas a gruesas, gravas basales.	Acuífero confinado.
Basamento Cristalino o Formación Martín García.		Granitos y gneises.	Acuífugo.

Nota: El flujo subterráneo varía de dirección dependiendo de los niveles del agua del río con respecto a la del acuífero, donde el agua fluye desde el cauce con mayor nivel de agua al de menor. De esta forma, el escurrimiento predominante del agua hacia el Riachuelo puede invertirse en periodos de crecidas del río [11].

Línea de base biológica

Flora

La zona de estudio se ubica dentro de la provincia fitogeográfica Pampeana, caracterizada por vegetación boscosa marginal en ríos y arroyos, bosques xerófilos asociados a suelos de barrancas, y matorrales ribereños. Sin embargo, debido al alto nivel de urbanización del área, dicha vegetación ha sido reemplazada por árboles y arbustos urbanos, mayormente exóticos, incluyendo: diversas especies de eucalipto (*Eucalyptus sp.*), el fresno americano (*Fraxinus pennsylvanica*), el gomero de la India (*Ficus elástica*), el plátano (*Platanus sp.*), el ligustro (*Ligustrum lucidum*), entre otros. La vegetación acuática presente en el tramo rectificado del Riachuelo se reduce a cuchareros, camalotales y otras comunidades del ambiente acuático que ingresan con las crecidas provocadas por las sudestadas [11] [49].

Fauna

Actualmente, la fauna originaria asociada a la vegetación nativa se reduce principalmente a la avifauna habituada al medio urbano. Se mencionan: el hornero (*Furnarius rufus*), el

zorzal colorado (*Turdus rufiventris*), la paloma torcaza (*Zenaida auriculata*), el chingolo (*Zonotrichi acapensis*), el tordo renegrado (*Molothrus bonariensis*), cotorras (*Myiopsitta monachus*), entre otros. Entre las aves exóticas de la zona, es común encontrar la paloma doméstica europea (*Columba livia*) y el gorrión europeo (*Passer domesticus*) [11] [49].

Línea de base socio-económica

Demografía y calidad de vida

Según datos censales, el partido de Lanús posee 461,267 habitantes y una densidad de 9,540 hab/km². Del total de la población mayor a 14 años, el 50.4% posee una ocupación y el 54.5% es económicamente activa (7.6 % de esta fracción se halla desocupada) [29] [38].

La calidad de vida de los habitantes fue evaluada con el indicador ICV (Índice de Calidad de Vida) de ACUMAR, construido a partir de cuatro dimensiones: vivienda, educación, salud y entorno [10]. Los ICV recopilados para el partido de Lanús a nivel de radio censal, se ven en la Figura 58. El mapa permitió observar un mayor porcentaje de indicadores medios y bajos cerca del sitio de emplazamiento de la curtiembre *Encuerado*.

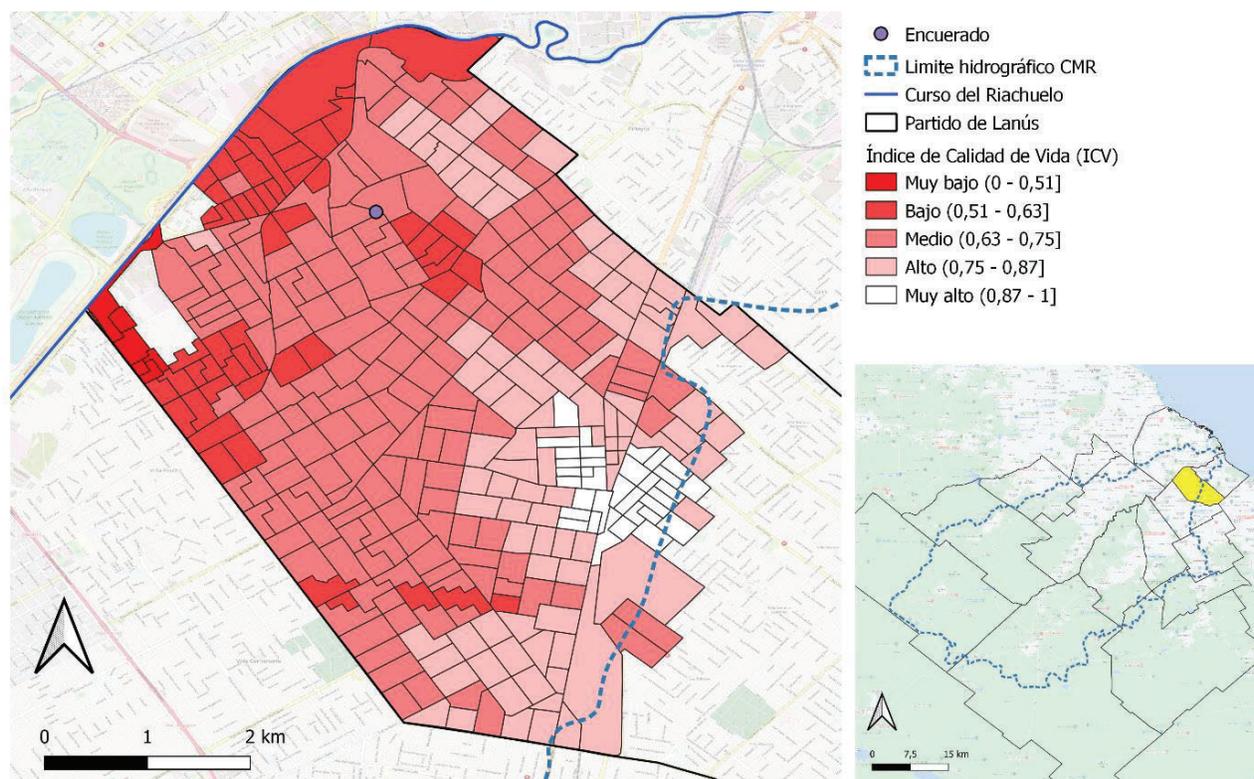


Figura 58: Índice de Calidad de Vida (ICV) del partido de Lanús, para la región dentro de la Cuenca Matanza Riachuelo. Violeta: Localización de la curtiembre *Encuerado*. Mapa base: Openstreetmap. Datos obtenidos de Ref. [10].

Estructura productiva

El partido de Lanús cuenta con una importante actividad industrial, seguida por el sector comercial y de servicios. Las principales aglomeraciones productivas son: las curtiembres y productos de cuero y calzado, concentradas en Valentín Alsina; los productos de papel; el sector metalmecánico; y la industria autopartista. La industria curtidora tiene un lugar preponderante, tanto por su aporte económico como por su rol en la historia del partido [49].

Existen más de 790 comercios e industrias empadronados en el sector occidental de Lanús (AI del proyecto), varios de las cuales han sido identificadas como Agentes Contaminantes por ACUMAR. Si bien la localidad de Valentín Alsina cuenta con zonas industriales, en general el tejido urbano se caracteriza por la presencia de PyMEs dispersas [6] [64].

Servicios e infraestructura urbana

La prestación de servicios urbanos dentro del partido de Lanús incluye cloacas, red pluvial, provisión de agua potable, distribución de gas y distribución de electricidad, entre otros. A continuación, se detalla el estado de la prestación de dichos servicios urbanos:

Tabla 79: Prestación de servicios urbanos en el partido de Lanús. Ref. [11] [49].

Servicio	Detalle de la prestación
Red cloacal	El 37,8% de la población de Lanús cuenta con servicio de desagüe a red cloacal, a cargo de la empresa Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA). El porcentaje restante de la población vierte sus residuos en pozos ciegos, desagües pluviales o directamente en los cursos de agua. Las aguas negras colectadas en la red son conducidas a una planta de Tratamiento de Líquidos cloacales, donde se busca remover sólidos gruesos, grasas y materia orgánica presente. Una vez terminado este tratamiento, los efluentes son vertidos en el Río Matanza-Riachuelo.
Red pluvial	El partido de Lanús posee tres cuencas que buscan recolectar el agua pluvial excedente del área hacia el Matanza-Riachuelo: Cuenca colector Olazábal, Millán y San Martín. El área bajo estudio forma parte de la cuenca Olazábal, que posee una superficie aproximada de 1100 ha.
Energía eléctrica	El servicio de energía eléctrica está a cargo de la empresa concesionaria Edesur, que abastece al 98.6% de la población del partido. El servicio no presenta restricciones desde el punto de vista de la generación, aunque sí de distribución en épocas de mayores consumos.
Gas	La cobertura de gas por red en Lanús alcanza al 78,6% de la población, a cargo de la empresa concesionaria Metrogas. El porcentaje restante de los habitantes se abastecen a partir de gas licuado en garrafas, o bien utilizan leña y carbón.
Agua potable	El 99,4% de los habitantes en el AI poseen cobertura de agua de red, a cargo de AySA.

Identificación y evaluación de impactos ambientales

Metodología de evaluación

Como parte del EsIA se identificaron y valoraron potenciales impactos del proyecto sobre distintos factores ambientales, caracterizados previamente en la sección de Línea de base. La metodología de evaluación empleada se basó en la construcción de una de una matriz de doble entrada tipo Leopold, tal como se explica a continuación:

1. Se identificaron acciones del proyecto capaces de generar impactos ambientales, para cada etapa del proyecto descrita (construcción y operación). También se identificaron aquellos factores ambientales con posibilidad de ser impactados.
2. Las acciones del proyecto se colocaron en las columnas de la matriz de Leopold, y los factores ambientales en las filas. El cruce resultante entre ambas, correspondió a los efectos de cada acción del proyecto sobre un factor dado del medio.
3. Para cada interacción identificada entre un factor y una acción, se valoró el impacto (I_m) en base a cinco criterios ambientales de calificación. La expresión utilizada fue la [Ec. 199]. Las definiciones de cada parámetro se observan en la Tabla 80.

$$[\text{Ec. 199}] \quad IM_i = \pm(I_i + E_i + P_i + D_i)$$

Tabla 80: Criterios de clasificación y rango de valores asignables, para la evaluación de efectos ambientales.

Atributo	Descripción	Clasificación	Valor
Signo (+/-)	-	Beneficioso	+
		Perjudicial	-
Intensidad (I)	Grado probable de destrucción sobre el factor	Baja	1
		Media	2
		Alta	3
Extensión (E)	Área de influencia del impacto	Puntual	1
		Zonal	2
		Regional	3
Duración (D)	Tiempo que el impacto o sus efectos permanecen en el ambiente	Fugaz	1
		Temporal	2
		Permanente	3
Probabilidad (P)	Regularidad con la que se espera registrar el impacto	Baja	1
		Media	2
		Alta	3

Identificación de impactos

La Tabla 81 presenta los factores del medio que pueden ser potencialmente impactados por las acciones vinculadas a las etapas de construcción y operación del proyecto.

Tabla 81: Identificación de los factores del medio plausibles de ser impactados por acciones del proyecto evaluado.

Factor ambiental		Descripción de los potenciales impactos
Aire	Calidad aire	<p>Las acciones de la etapa de construcción que implican movimientos de suelo generan emisiones de MP. También son factibles emisiones de gases de combustión, ocasionados por la circulación de tránsito pesado y otros vehículos a motor.</p> <p>Durante la operación de la planta de tratamiento de efluentes pueden generarse emisiones de compuestos con bajo umbral de olor, asociadas a condiciones anaeróbicas dentro de las unidades de tratamiento y almacenamiento de los barros generados. Con respecto al sistema de ventilación, el correcto funcionamiento de las unidades de captación y tratamiento reduce el impacto de las emisiones gaseosas asociadas al proceso productivo de <i>Encuerado</i> (MP y COVs) sobre el aire del ambiente laboral y calidad de aire exterior. Sin embargo, la operación fuera de régimen de dicho sistema (por ejemplo, durante el encendido y puesta a punto) puede ocasionar el venteo de gases de combustión incompleta, así como también de los contaminantes que deberían ser controlados por las unidades de tratamiento.</p>
	Ruido y vibraciones	<p>Toda la etapa de construcción incluye acciones que generan ruido y vibraciones, destacando: demoliciones; circulación de camiones; uso de herramientas de corte. Por su parte, durante la etapa de operación pueden ocasionarse ruidos y vibraciones por el funcionamiento constante de equipamiento electromecánico, como lo son: ventiladores de impulsión; sistemas de aireación; sistemas de agitación; bombas de circulación.</p>
Agua	Calidad agua subterránea	<p>Se menciona una elevada explotación del recurso hídrico subterráneo para llevar a cabo las pruebas hidráulicas de las unidades de tratamiento de efluentes líquidos.</p>
	Calidad agua superficial	<p>En la etapa de construcción puede ocurrir un arrastre por lluvias del material de suelo removido, materiales de construcción y/o residuos de obra hacia el curso del Riachuelo.</p> <p>Por su parte, la operación de la planta de tratamiento de efluentes minimiza aquellos impactos asociados al vuelco de aguas residuales crudas sobre el Riachuelo. Sin embargo, en caso de un incorrecto funcionamiento de la planta (por ejemplo, por desperfectos de las unidades), puede impactarse negativamente la calidad del agua. La puesta a punto de las unidades también puede conllevar el vuelco de efluentes no adecuados al río.</p>
Suelo	Calidad suelo	<p>En la etapa de construcción se produce una modificación permanente del suelo, incluyendo su compactación e impermeabilización, debido a la instalación de unidades de tratamiento.</p>
	Escorrentamiento e infiltración	<p>Durante la etapa de operación, los impactos sobre la calidad del suelo se asocian al caso de contingencias, como puede ser el derrame e infiltración de insumos químicos, de efluentes líquidos crudos y/o de barros.</p>
Socioeconómico	Oferta de empleo	<p>La construcción del proyecto requiere de mano de obra para el transporte de materiales, armado e instalación de unidades, entre otros. De esta forma, se prevé un aumento temporal en la oferta de empleo de la zona.</p> <p>La operación de los sistemas de tratamiento y ventilación requiere de mano de obra calificada, de carácter permanente. También requiere contratar constantemente un servicio de transporte y disposición final de lodos.</p>
	Salud	<p>Se prevé un impacto positivo sobre la salud de la población, por el adecuado tratamiento de los efluentes líquidos que de otra forma serían vertidos directamente al curso de agua. Asimismo, el sistema de ventilación localizada reduce la exposición de los trabajadores a las emisiones de contaminantes gaseosos liberados en el aire del ambiente laboral.</p>

Nota: No se prevén impactos significativos sobre las especies de flora y fauna locales, teniendo en cuenta su adaptación al alto grado de antropización ya presente en la zona.

Matriz de evaluación de impacto ambiental

La Tabla 82 presenta la matriz de impacto ambiental tipo Leopold realizada para el proyecto “Instalación y operación de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada para *Encuerado*”. Los valores de Intensidad (I), Extensión (E), Duración (D) y Probabilidad (P) utilizados para la construcción de la matriz, se desglosan en el Anexo VIII.

Tabla 82: Matriz de impactos ambientales para el proyecto. Los valores Im reportados fueron calculados con la [Ec. 199].

Referencia: Clasificación del valor calculado para cada impacto		Factores ambientales (*)								
		Aire		Agua		Suelo		Socio-económico		
		Valor Im	Impacto	Calidad del aire	Ruido y vibraciones	Calidad del agua subterránea	Calidad del agua superficial	Calidad del suelo	Escorrentía e infiltración	Oferta de empleo
> 0	Positivo									
-4 a -6	Leve									
-7 a -9	Medio									
-10 a -12	Alto									
Acciones del proyecto	Construcción	Instalación del obrador	-4	-7		-4		-4	9	
		Preparación del terreno	-7	-7		-4	-9	-9	9	
		Movimientos de suelo y demoliciones	-9	-10		-6	-10	-10	10	
		Construcción y montaje de unidades	-8	-10		-6	-10	-10	10	
		Instalación de conducciones y equipo electromecánico	-5	-6		-4	-8		9	
	Operación	Pruebas hidráulicas y puesta a punto de los sistemas de tratamiento y ventilación	-6	-6	-7				6	
		Operación normal de los sistemas de tratamiento y ventilación	12	-9	9	11			8	11
		Gestión de barros	-8	-9	9	11			8	10
		Contingencias	-7		-6	-7	-7	-7		

(*) Se incluyen sólo aquellas acciones del proyecto con la posibilidad de generar un efecto relevante sobre los factores ambientales.

A partir de la matriz presentada, fue posible detectar acciones del proyecto capaces de ocasionar impactos significativos sobre los factores ambientales considerados (se destaca en este sentido la etapa de construcción, con una mayor proporción de impactos negativos medios y altos, que afectan los factores ambientales Aire, Agua y Suelo). En base a esta información, se diseñaron medidas con el objetivo de evitar y/o minimizar dichos impactos.

Plan de Prevención y Mitigación

El Plan de Prevención y Mitigación es un instrumento que propone acciones destinadas a neutralizar y/o reducir los efectos de los impactos ambientales detectados en la matriz de Leopold (ver Tabla 82). Las medidas que lo conforman se clasificaron en: Preventivas, que pretenden evitar la aparición de efectos ambientales negativos; y Correctivas, que buscan reparar las consecuencias producidas por los efectos generados (ver Tabla 83 y Tabla 84).

Tabla 83: Medidas propuestas para el Plan de Prevención y Mitigación - Etapa de construcción.

Medida	Clase	Impacto a evitar	Acciones propuestas
Control del Material Particulado	Preventiva	Afección de la calidad de aire	Humedecer las zonas afectadas por las obras - Evitar realizar tareas que provoquen levantamiento de polvo durante períodos de viento intenso - Cubrir el material de construcción, dispuesto para la obra - Mantener una velocidad de tránsito de vehículos menor a 15 km/h - Controlar que los vehículos destinados al transporte de materiales sueltos circulen cubiertos con lona
Manejo del suelo	Preventiva	Afección de la calidad del suelo	Designación de áreas para la acumulación temporal del suelo removido, que se encuentre impermeabilizado y cubierto - No realizar destape por encima de lo estrictamente necesario - Reutilizar escombros y suelo previamente removido como material de relleno de obra, reduciendo la necesidad de nuevas excavaciones - Impermeabilizar las áreas donde se estacionan vehículos y maquinaria, o donde se realizan tareas mantenimiento de los mismos
Uso eficiente de vehículos y maquinaria pesada	Preventiva	Afección de la calidad del aire y generación de ruido y vibraciones	Formular un plan de transporte eficiente para empleados, a fin de evitar la abundancia de vehículos particulares - Garantizar un efectivo mantenimiento para la maquinaria y el equipo utilizado en la etapa de construcción - Emplear vehículos de transporte certificados, con uso eficiente de combustible
Minimización de ruido y vibraciones	Preventiva y mitigadora	Generación de ruido y vibraciones	Colocar dispositivos silenciadores en los equipos motorizados - Elegir horarios de obraje convenidos con el municipio y la comunidad - Prohibir el uso de bocinas u otro tipo de fuentes de ruido innecesarias, exceptuando los casos de emergencia - Evitar el uso de máquinas que produzcan altos niveles de ruido simultáneamente durante la etapa de construcción - Plantación de arbolado perimetral para minimizar el alcance de los ruidos que pudieran generarse
Gestión de residuos	Preventiva	Afección de la calidad del agua y aire	Disponer los residuos generados en los contenedores correspondientes, según la naturaleza del desecho (de obra, forestal, sólido urbano, etc.) - Retirar los contenedores regularmente de la zona de trabajo, para su recuperación o disposición final (dependiendo del tipo de residuo) - Alquiler de volquetes para la disposición ordenada de residuos de obra durante la etapa de construcción
Plan de contingencias	Preventiva	Contingencias	Elaboración y aplicación de un plan de contingencias durante la construcción - Implementación de buenas prácticas de construcción

Tabla 84: Medidas propuestas para el Plan de Prevención y Mitigación - Etapa de operación.

Medida	Clase	Impacto a evitar	Acciones propuestas
Minimización de ruido y vibraciones	Preventiva y mitigadora	Generación de ruido y vibraciones	Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo, y controlar periódicamente el nivel de emisión de ruido de cada una de las máquinas y equipos que generen ruidos molestos - Localizar bombas, sopladores, compresores, y filtros prensa en salas insonorizadas - Localizar ventiladores externamente a los edificios, preferentemente en los techos

Medida	Clase	Impacto a evitar	Acciones propuestas
Gestión de lodos y residuos especiales	Preventiva y mitigadora	Afección de la calidad del agua y suelo	Disponer los lodos deshidratados en contenedores designados, diferenciando aquellos conteniendo cromo - Designar un espacio para el almacenamiento transitorio de residuos especiales (como lubricantes, lacas, pinturas, barnices y productos de terminación), con un sistema de contención antiderrames, siguiendo los requisitos de la Rs. N° 592/00 - Contratar un transportista habilitado para el traslado de residuos especiales a un centro de disposición final - Elaborar un plan de manejo de lodos basado en la Rs. N° 410/18
Manejo de compuestos con bajo umbral de olor	Mitigadora	Generación y difusión de olores	Localizar filtros prensa en recintos cerrados, controlados por un sistema de ventilación general mecánico - Plantación de arbolado perimetral para minimizar el alcance de los compuestos con bajo umbral de olor generados
Plan de monitoreo de la planta de tratamiento de efluentes	Preventiva	Operación fuera de régimen de la planta de tratamiento de efluentes líquidos	Implementación de un plan de toma de muestras para diferentes puntos clave dentro de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, el cual contemple: toma de muestras compensadas por caudal, con periodicidad semanal, para la posterior determinación de NTK, NH ₃ , DBO, DQO, Cromo total y SST; toma de muestras puntuales, diarias, para la determinación rápida de DQO y SST; mediciones en línea de conductividad, pH, oxígeno disuelto y nivel de líquido - Realización periódica de un ensayo Jar Test, para la determinación de la dosis óptima de agente coagulante y floculante (diario), y de agente precipitante de cromo (semanal) - Análisis periódico de riqueza microbiana en biorreactores
Plan de monitoreo de los barros mixtos generados	Preventiva	Disposición inadecuada de los barros mixtos	Desarrollo e implementación de un plan de monitoreo para los barros mixtos estabilizados y deshidratados, el cual incluya ensayos de laboratorio sobre los biosólidos para verificar el cumplimiento de los valores de referencia reportados en la Tabla N° 2 - Anexo II de la Resolución nacional N° 410/18
Plan de monitoreo del sistema de ventilación localizada	Preventiva	Operación fuera de régimen del sistema de ventilación localizada	Desarrollo e implementación de un plan de monitoreo para el sistema de ventilación localizada, el cual contemple: la caracterización anual de corrientes gaseosas, siguiendo metodologías basadas en métodos de referencia o equivalentes; la evaluación del impacto de las emisiones gaseosas en la calidad de aire exterior, por la aplicación de modelos de dispersión atmosférica aprobados por la autoridad de control; la obtención de la Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera, según lo establecido en el Decreto N° 1074/18
Protocolo de puesta en marcha del incinerador	Preventiva		Desarrollo e implementación de un protocolo de encendido y puesta en marcha del sistema de ventilación localizada, particularmente del incinerador térmico, el cual contemple controles de temperatura, flujo de aire, y concentración de gases hasta alcanzar las condiciones óptimas de funcionamiento
Plan de contingencias	Preventiva	Contingencias	Elaborar un Plan de Contingencias para la planta de tratamiento de efluentes líquidos y sistema de ventilación localizada, e incorporarlo al manual de operación de la empresa <i>Encuerado</i> - Construcción de una cámara de emergencia para retener efluente no apto y evitar vuelcos accidentales

Conclusiones del EsIA

A partir de los resultados obtenidos en el Estudio de Impacto Ambiental, se concluyó que el proyecto “Instalación y operación de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada para *Encuerado*” es **social y ambientalmente viable**. Esta afirmación requiere la implementación del Plan de Prevención y Mitigación presentado, así como su incorporación al manual de operación y programas de higiene y seguridad de *Encuerado*, para evitar y/o mitigar los efectos ambientales negativos detectados en la matriz de impacto.

Recomendaciones finales

- Monitorear la carga de nutrientes ingresando a la línea de tratamiento secundario, incluyendo parámetros como el fósforo total y nitrógeno NTK, tal de verificar que los mismos sean adecuados para permitir el desarrollo de la biomasa dentro de los reactores biológicos.
- Implementar un sistema de recuperación del cromo contenido en los barros deshidratados del sistema de tratamiento de efluentes líquidos, con la posibilidad de reutilizar dicho cromo dentro del proceso productivo de la empresa.
- Diseñar un plan de muestreo y análisis para los barros mixtos deshidratados provenientes del sistema de tratamiento de efluentes líquidos, con el fin de asegurar la ausencia de todas las categorías de peligro descritas en el Anexo II de la Ley N° 11.720, así como también verificar el cumplimiento de los valores límite establecidos en la Tabla N° 2 - Anexo II de la Resolución nacional N° 410/18.
- Implementar un sistema de ventilación mecánico para controlar focos de generación de emisiones gaseosas no abordados en el presente Proyecto Final Integrador. Se mencionan las emisiones de Sulfuro de hidrógeno, asociadas a la apertura de las compuertas de carga/descarga de los fulones de piquelado.
- Aplicación de buenas prácticas de manufactura orientadas a reducir las emisiones gaseosas de COVs en la etapa de terminación y de amoníaco en la etapa de secado. Se mencionan la utilización de productos de terminación al agua, y el reemplazo de los insumos usados durante el engrasado y tintura del cuero por otros compuestos químicos exentos de sales de amonio.

Conclusiones finales

En el presente Proyecto Final Integrador (PFI), se realizó el diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de *Encuerado*, una curtiembre teórica localizada en Valentín Alsina.

El proceso de elaboración del PFI conllevó un relevamiento inicial del estado del arte, el cual incluyó una caracterización general de la industria curtidora, una descripción del proceso productivo de la empresa abordada, la identificación de las aguas residuales y emisiones gaseosas requirentes de tratamiento, y la presentación de normativa ambiental de referencia. Adicionalmente, en esta etapa se llevaron a cabo dos visitas a curtiembres localizadas dentro de Valentín Alsina, cuya experiencia e información proporcionada representó un insumo clave para la realización del presente documento (ver Anexo I).

A raíz de la información relevada, se presentaron y compararon dos alternativas diferentes posibles de tratamiento, tanto para las aguas residuales como para las emisiones gaseosas. En ambos casos, se propusieron tecnologías convencionales, con antecedentes de aplicaciones exitosas reportadas en bibliografía [9] [14] [70] [102] [106].

Para las alternativas seleccionadas, se logró confeccionar una memoria descriptiva, una memoria de cálculo del diseño, y se confeccionaron planos a nivel de ingeniería básica de las unidades que la conforman. También se estimaron los costos asociados a la instalación y operación de los sistemas de tratamiento de efluentes y ventilación localizada diseñados. Finalmente, se confeccionó un Estudio de Impacto Ambiental, el cual concluyó la viabilidad socioambiental del proyecto evaluado.

En la elaboración del presente Proyecto Final Integrador, se aplicaron de manera integral los conocimientos y herramientas adquiridas a lo largo de la carrera Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín.

Bibliografía

- [1] Agua y Saneamientos Argentinos. (2019). *Criterios de diseño hidráulico para proyectos de agua*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/04/diseno_hidraulico.pdf.
- [2] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (1998). *Industrial ventilation: A manual of recommended practice*. 23 ED.
- [3] American Petroleum Institute. (1990). *Management of water discharges: Design and operation of oil-water separators*. API Publication 421. 1ED.
- [4] Alibaba. (s.f.). *Releaser for dissolved air flotation system microbubbles air diffuser*. Recuperado el 17 de junio de 2024 de: https://www.alibaba.com/product-detail/Releaser-for-dissolved-air-flotation-system_62303710345.html.
- [5] Alibaba. (s.f.). *Tanque de presión horizontal de acero al carbono 24L 50L 80L 100L para bomba de agua*. Recuperado el 17 de junio de 2024 de: https://www.alibaba.com/product-detail/Carbon-Steel-24L-50L-80L-100L_1601029_327403.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.41f813a0qGiUsd.
- [6] Armengo, R. C. & Schächter, L. (2012). *Plan Estratégico Urbano Territorial del Municipio de Lanús*. <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/BUENOSAIRE/Plan-Estrategico-Urbano-Territorial-de-Lan%C3%BA.pdf>.
- [7] Atlas del Conurbano bonaerense. (s.f.). *Matanza Riachuelo*. Recuperado el 02 de enero de 2025 de <https://www.atlasconurbano.info/pagina.php?id=10>.
- [8] ATV Regelwerk Arbeitsblatt A131. (2000). *Dimensionamiento de plantas de fangos activos de una etapa*. Asociación Alemana del Agua, Aguas Residuales y Residuos.
- [9] Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo & Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental. (2022). *Guía sobre tratamiento de aguas para la adecuación ambiental*. <https://www.acumar.gob.ar/wp-content/uploads/2016/12/Guia-de-Adecuacion-nueva-v13-DIGITAL.pdf>.
- [10] Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. (s.f.). *Datos públicos*. Recuperado el 25 de abril de 2023 de <https://mapas.acumar.gob.ar/datos>.
- [11] Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. (2015). *Parque Industrial Curtidor Lanús y Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales: Resumen Ejecutivo del Estudio de Impacto Ambiental*. <https://www.acumar.gob.ar/parque-curtidor/>.
- [12] Barnini SRL. (s.f.). *Spray booth*. Recuperado el 10 de junio de 2024 de <https://www.barnini.it/en/machinery/automatic/spray-booth>.

- [13] Bergi. (s.f.). *Polishing Machines*. Recuperado el 10 de junio de 2024 de <https://bergi-en.com/prodotti/polishing-machines/kurta/>.
- [14] Black, M., Canova, M., Rydin, S., Scalet, B. M., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2013). *Best Available Techniques Reference Document for the Tanning of Hides and Skins*. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/TAN_Published_def.pdf.
- [15] Bratby, J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. 3 ED. IWA publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780407500>.
- [16] Canepa Vargas, L. (2004). *Tratamiento de aguas para consumo humano - Plantas de filtración rápida* (Tomo I). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- [17] Casals Ventilación. (s.f.). *Fanware Lite*. <https://www.casals.com/es/fanware/50>.
- [18] Corporación Financiera Internacional. (2007). *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el curtido y el acabado del cuero*. Grupo del Banco Mundial. <https://documents1.worldbank.org/curated/zh/528471491557267599/pdf/114073-WP-SPANISH-Tanning-and-Leather-Finishing-PUBLIC.pdf>.
- [19] Cramix S.A. (s.f.). *Filtros Prensa Manuales y Semiautomáticos*. Recuperado el 11 de agosto de 2024 de <https://cramix.com/productos/filtros-prensa/>.
- [20] DEWA. (s.f.). *Chain Scraper System*. Recuperado el 15 de diciembre de 2024 de <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/dewaco-ltd/dewa-chain-scraper-system/90037-1054221-2.html>
- [21] Eckenfelder, W. W. (1999). *Industrial Water Pollution Control*. 3 ED.
- [22] Eddy Pump Corporation. (s.f.). *Bombas de aspiración inundadas*. Recuperado el 21 de julio de 2024 de: <https://eddyump.com/es/productos/bombas-de-lodos/bombas-de-aspiracion-inundadas/>.
- [23] Edesur. (s.f.). *Cuadro tarifario*. <https://www.edesur.com.ar/tarifas-cuadro-tarifario/>.
- [24] Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento. (2014). *Fundamentaciones de los criterios*.
- [25] First Source Worldwide. (s.f.). *How to make the most of your leather-shaving machine*. <https://www.fsw.cc/make-leather-shaving-machine/>.
- [26] Fragon. (s.f.). *Filtros para cabinas*. <https://fragon.com.ar/filtros/>.
- [27] Frecia, G. D. (2017). *Gestión del medio ambiente, el futuro de las curtiembres de la cuenca Matanza-Riachuelo* [Tesis doctoral]. Universidad de Buenos Aires. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/BDUBAFCE_4477c64098a05438e43b2e942d7247bc.

- [28] Glassdoor. (s.f.). *Buscador de empleo*. <https://www.glassdoor.com.ar/index.htm>.
- [29] Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (2023). *Encuesta de Hogares y Empleo Municipal (EHE-M) - Lanús 2022*. http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/images/EHE_LANUS_2022.pdf.
- [30] Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). *Listado de transportistas de residuos especiales*. <https://sistemas.ambiente.gba.gov.ar/intra/TRANSPORTISTA/ConsultaWeb.php>.
- [31] Grady, L. C. P., Daigger, G. T., Love, N. G. & Filipe, C. D. M. (2011). *Biological Wastewater Treatment*. 3 ED. IWA Publishing.
- [32] Green, D.W. & Southard, M.Z. (2019). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 9 ED.
- [33] Grundfos. (s.f.). *Bombas, sistemas de bombeo y servicios*. <https://www.grundfos.com/ar>.
- [34] Hall Environmental Consultants. (s.f.). *Oil/Water Separator Design Guidelines*. https://cms6.revize.com/revize/bardstownky/document_center/Wastewater/FOG%20Program/Oil-Water%20Separator%20Guidelines%20%20Considerations.pdf.
- [35] Haydar, S. & Aziz, J. A. (2009). *Coagulation-flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers*. Journal of Hazardous Materials. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.140>.
- [36] Hernández Muñoz, A. (1992). *Depuración de aguas residuales*. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- [37] Honorable Congreso de la Nación Argentina. (1991). *Ley 24051 de Residuos Peligrosos*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24051-450>.
- [38] Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Resultados provisionales Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. <https://www.indec.gob.ar/>.
- [39] Instituto Nacional de Tecnología Industrial & Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. (2023). *Manual General de Buenas Prácticas - Parque Industrial Curtidor de Lanús*. <https://www.acumar.gob.ar/participacion-social/audiencias-publicas/parque-industrial-curtidor-lanus/> [Otra documentación].
- [40] John Brooks Company. (s.f.). *Grundfos PLS Pre-Fabricated Wastewater Pumping Stations*. Recuperado el 15 de enero de 2025 de <https://www.johnbrooks.ca/product/grundfos-pls-pre-fabricated-wastewater-pumping-stations>.
- [41] Juhana, S., Wresta, A., Susanto, H. B., Hermawan, P., Winata, W. F., Maryati, T., Windiastuti, S., Anggraini, T. (2024). *The Effectiveness of Polyaluminium Chloride*

- (PAC) As Coagulant to Treat Tannery Waste. Egyptian Journal of Chemistry. DOI: 10.21608/ejchem.2024.244415.8777.
- [42] Kiliç, E., Tarrés, Q., Delgado Aguilar, M., Espinach, X., Fullana I Palmer, P., Puig, R. (2020). *Leather Waste to Enhance Mechanical Performance of High-Density Polyethylene*. DOI: 10.3390/polym12092016.
- [43] Kirk, E. R., Othmer, D. F. (1962). *Enciclopedia de tecnología química: Vol. 6*. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana.
- [44] KOFLO. (s.f.). *Gray Threaded PVC Static Mixer*. <https://www.koflo.com/static-mixers/stock-static-mixers/stock-gray-pvc-static-mixers/>.
- [45] Konrad, C., Lorber, K., Méndez, R., Muñoz, M., Hidalgo, D., Bornhardt, C., Torres, M. & Rivela, B. (2002). *Systematic analysis of material fluxes at tanneries*. Journal-Society of Leather Technologists and Chemists. 86. 18-25.
- [46] Lakatos, G. (2018). *Principles of Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. 2 ED. <https://doi.org/10.1201/b18368-4>.
- [47] López Vázquez, C.M., Méndez, G.B., García, H.A., Cervantes Carrillo, F.J. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>.
- [48] Lozano Rivas, W.A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseño_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales.
- [49] Luna, F. S. (2022). *Análisis y evaluación de amenazas naturales y tecnológicas para la gestión del riesgo en el partido de Lanús, provincia de Buenos Aires*. Repositorio de la Universidad de Buenos Aires. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n7154_Luna.pdf.
- [50] Mc Cabe, W. L., Smith, J.C. & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7 ED. McGraw-Hill Interamericana.
- [51] Mercado libre. (s.f.). *Compresor de aire eléctrico Branx Brxc2525*. Recuperado el 21 de junio de 2024 de: https://www.mercadolibre.com.ar/compresor-de-aire-electrico-portatil-branx-220v-50hz-25lts-color-brxc2525-fase-electrica-monofasica-frecuencia-50-hz/p/MLA30589239#searchVariation=MLA30589239&position=8&search_layout=stack&type=product&tracking_id=39e58fd4-ae6-45a3-a37e-a2cd7d937d93.
- [52] Mercado libre. (s.f.). *Tambor Plástico 200 Litros*. Recuperado el 21 de junio de 2024 de: https://www.mercadolibre.com.ar/tambor-plastico-200-litros/up/MLAU231587220#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLAU231587220&wid=MLA133

- [1223611&position=4&search_layout=grid&type=product&tracking_id=97a63418-cc26-4f05-a889-bcbc1794d18c&sid=search.](https://www.mercadolibre.com.ar/tanque-de-agua-waterplast-clasico-clasico-tricapa-vertical-polietileno-750l-de-112cm-x-97cm/p/MLA14117111#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLA14117111&wid=MLA1122602751&position=5&search_layout=grid&type=product&tracking_id=13c82956-ebf3-4e0e-8a1c-187fe78628e3&sid=search)
- [53] Mercado libre. (s.f.). *Tanque de agua Clásico Waterplast Tricapa vertical 750L*. Recuperado el 28 de abril de 2024 de: https://www.mercadolibre.com.ar/tanque-de-agua-waterplast-clasico-clasico-tricapa-vertical-polietileno-750l-de-112cm-x-97cm/p/MLA14117111#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLA14117111&wid=MLA1122602751&position=5&search_layout=grid&type=product&tracking_id=13c82956-ebf3-4e0e-8a1c-187fe78628e3&sid=search .
- [54] Mercado libre. (s.f.). *Tanque de agua Waterplast Clásico Tricapa vertical polietileno 525L*. Recuperado el 9 de junio de 2024 de: https://www.mercadolibre.com.ar/tanque-de-agua-waterplast-clasico-clasico-tricapa-vertical-polietileno-525l-de-105cm-x-88cm/p/MLA14028905#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLA14028905&wid=MLA1348104465&position=5&search_layout=grid&type=product&tracking_id=29e8a3a2-c9e6-4242-b10d-2a2483807038&sid=search.
- [55] Mercobras S.A. & Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (s.f.). Estación Meteorológica Automática EMA 05 Lanus. Recuperado el 04 de octubre de 2023 de <http://www.bdh.acumar.gov.ar/bdh3/meteo/lanus/mb1.htm>.
- [56] Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering*. 4 ED.
- [57] Metrogas. (s.f.). *Cuadros tarifarios*. <https://www.metrogas.com.ar/grandes-clientes/cuadros-tarifarios/>
- [58] Mijaylova Nacheva, P., López Armenta, S., Ramírez Camperos, E. & Cardoso Vigueros, L. (2015). *Tecnología para la remoción y recuperación del cromo trivalente en efluentes de curtido de pieles*. <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/966>.
- [59] Minas, F., Chandravanshi, B.S. & Leta, S. (2017). *Chemical precipitation method for chromium removal and its recovery from tannery wastewater in Ethiopia*. Chemistry International 3(4) (2017) 291-305.
- [60] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2018). *Documento de Licitación para la Adquisición, Suministro e Instalación de Elementos de Planta Adquisición de: Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales del Predio PARQUE INDUSTRIAL CURTIDOR LANÚS - Supervisión de Operación y Mantenimiento*. <https://www.acumar.gov.ar/wp-content/uploads/2016/12/PTELI-BIRF-FINAL-01-08.pdf>.

- [61] Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. (2021). *Manual Técnico de Dotaciones de Agua*. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf.
- [62] Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2013). *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador* (pp. 127-140). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART2.pdf>.
- [63] Moharir, S. R., Patni, P. A. Datar, A. V. & Suryawanshi, T. S. (2020). *Study of treatment of laundry wastewater*. <https://www.jetir.org/papers/JETIR2009078.pdf>.
- [64] Molina, J. C. (2005). *Análisis Ambiental Urbano del Partido de Lanús* [Proyecto Final]. Universidad de Flores. <https://www.uflo.edu.ar/files/varios/volumen3/trabajo%206/Ambiental%20Urbano.pdf>.
- [65] Muñoz Alegría, J. A., Muñoz España, E. & Flórez Marulanda, J. F. (2021). *Dissolved Air Flotation: A Review from the Perspective of System Parameters and Uses in Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.22430/22565337.2111>.
- [66] Nanda, B. T., Swatika, J. & Ragil, Y. (2023). *Optimization of poly alumunium chloride (PAC) dosage for tannery waste treatment in coagulation-flocculation process*. <https://doi.org/10.58533/cysq2360>
- [67] Oleaga, A., Pacheco, F. & Puig, L. (2004). *Guía para medición de caudales de efluentes industriales*. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Guia_Medicion_Caudales.pdf.
- [68] Organización Panamericana de la Salud & Centro de estudios para la promoción de la igualdad y la solidaridad. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b%20Guia%20dise%C3%B1o%20de%20bombeo.pdf.
- [69] Pampín, R. M. (2007). *Producción limpia en la industria de curtiembre*. Universidad de Santiago de Compostela. <https://www.usc.gal/es>.
- [70] PANEDLI Grandes obras, ESUCO, & Ecopreneur. (2020). *Memoria de cálculo de procesos para el diseño de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales del Predio PARQUE INDUSTRIAL CURTIDOR LANÚS*. PTE-GE-PR-MC-007.
- [71] Paul, E. L., Atiemo Obeng, V. A. & Kresta, S. M. (2003). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. DOI:10.1002/0471451452.

- [72] Pedelaborde, C. L. (2007). *Curso de ventilación industrial*. Recuperado de <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-del-aconcaqua/mecanica-de-los-fluidos/posgrados-apuntes-capitulo-introduccion/17799249>.
- [73] Pena, A.C.C., Agustini, C.B., Trierweiler, L.F., Gutterres, M. (2020). *Influence of period light on cultivation of microalgae consortium for the treatment of tannery wastewaters from leather finishing stage*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121618>.
- [74] Peñafiel, R., Ochoa Herrera, V. & Ceron, P. (2013). *Remoción de contaminantes de aguas residuales del procesamiento de pieles mediante un reactor de mezcla controlada*. https://www.researchgate.net/publication/303894493_Remocion_de_contaminantes_de_aguas_residuales_del_procesamiento_de_piel_mediante_un_reactor_de_mezcla_controlada.
- [75] PubChem (s.f.). *Compound Summary: Chromium (6+)*. Recuperado el 15 de abril de 2024 de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/29131>.
- [76] Pui, W.K., Yusoff, R., & Aroua, M.K. (2018). *A review on activated carbon adsorption for volatile organic compounds (VOCs)*. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0057>
- [77] Prowater. (s.f.). Cesto de desbaste CDE. <https://prowater.es/rejas-de-desbaste/cesto-de-desbaste-cde/>.
- [78] Reynolds, T. D., Richards, P. A. (1995). *Unit operations and processes in environmental engineering*. 2 ED.
- [79] Repicky. (2016). *Sistemas de Aireación para Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales y Cloacales*. <https://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>.
- [80] Repicky. (2016). *Sopladores de Aire y Bombas de Vacío de Lóbulos Rotativos*. <https://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sopladores-y-Bombas-RA-Repicky.pdf>.
- [81] Romero Rojas, J.A. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. 3 ED. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [82] Salas Colotta, G. (2005). Reuso de cromo en el tratamiento de efluentes de una curtiembre. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/5427>.
- [83] Saxena, G., Chandra, R., Bharagava, R.N. (2016). *Environmental Pollution, Toxicity Profile and Treatment Approaches for Tannery Wastewater and Its Chemical*

- Pollutants*. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 240. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/398_2015_500.
- [84] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2012). *Resolución N° 607/2012*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-607-2012-195663/actualizacion>.
- [85] Servicio Meteorológico Nacional. (s.f.). *Monitoreo climático: Estación EZEIZA*. Recuperado el 26 de diciembre de 2024 de <https://www.smn.gob.ar/clima/vigilancia>.
- [86] Schmidt, H. R. (2008). *Curso de hidrología y diseño de captaciones de aguas superficiales y meteóricas*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. https://cms.fi.uba.ar/uploads/instituto_sanit_hidrolog_y_bombeo_4104258dde.pdf.
- [87] Schneider, A., Flores, H., Retamar, J.C., Orué, S., Belis, E. & Lacoste, A. (2012). *Aglomerado de virutas de cuero - Influencia de la presión de moldeo sobre sus propiedades*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26385/Documento_completo.pdf?sequence=1.
- [88] Shohag Milu, Md., Abul Hashem, Md., Payel, S., Anik Hasan, Md. (2022). *Leather buffing dust in brick production: Solid waste management in tanneries*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01625>.
- [89] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2011). *Guía de producción más limpia para la industria curtidora*.
- [90] Sekaran, G., Shanmugasundaram, K. A., Mariappan, M. (1998). *Characterization and utilization of buffing dust generated by the leather industry*. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(98\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(98)00159-9).
- [91] Seteway Tecnología y Servicios. (s.f.). *Toggling de Expanste-10 / TE-20*. <https://www.7way.com.br/esp/detalhes-produto/?id=48>.
- [92] Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de México (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades*.
- [93] Smart Storm Group. (2023). *Fat, Oil and Grease Skimmer*. <https://smartstormgroup.com/wp-content/uploads/2023/09/Smart-Storm-Greasebuster-Brochure-V2.pdf>.
- [94] Steni System SRL (s.f.). *Buffing machines*. Recuperado el 30 de agosto de 2024 de <https://www.stenisystem.com/en/products/buffing-machines/>.
- [95] Suárez López, J., Jácome Burgos, A. & Rodríguez, P. U. (2015). *Technology fact sheets for effluent treatment plants on textile industry - Dissolved Air Flotation (FS-PRIM-003)*.

- [96] Taiwo, M.I., Namadi, M.A., Mokwa, J.B. (2016). *Design and analysis of cyclone dust separator*. American Journal of Engineering Research (AJER). ISSN: 2320-0847. <https://www.ajer.org/papers/v5%2804%29/O050401300134.pdf>.
- [97] Tejerina, W.A., Liberal, V.I., Iribarnegaray, M.A., Seghezzo, L. (2013). *Gestión de residuos en curtiembres de la provincia de Salta*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/975?show=full>.
- [98] Thanh, T., Duc, A. L., Nguyen, H. H., Tran, P. H., Nguyen, C. D., Lam, V. T., Vo Thi, D. H. & Xuan Thanh, B. (2021). *Study on optimal conditions of poly ferric chloride (PFC) dosage treating tannery wastewater*. Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.320>.
- [99] TORO Equipment. (2022). *Tamices*. <https://toroequipment.com/es/tamices/>.
- [100] Tsotsos, D. (1986). *Tanneries: A Short Survey of the Methods Applied for Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.2166/wst.1986.0079>.
- [101] United States Air Force. (1999). *Fact Sheet - Oil/Water Separators*. TI#20382. <https://p2infohouse.org/ref/07/06019.htm>.
- [102] United States Environmental Protection Agency. (1977). *Leather Tannery Waste Management through process change, reuse and pretreatment*. EPA/600/2-77/034.
- [103] United States Environmental Protection Agency. (1981). *Emission Factor Documentation for AP-42. Section 4.2.2.1 General Industrial Surface Coating*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c4s02_2a.pdf.
- [104] United States Environmental Protection Agency. (1991). *Control Techniques for Hazardous Air Pollutants*. EPA/625/6-91/014.
- [105] United States Environmental Protection Agency. (1992). *Control Techniques for Volatile Organic Compound Emissions from Stationary Sources*. EPA-453/R-92-018.
- [106] United States Environmental Protection Agency. (1993). *Air Emissions and Control Technology for Leather Tanning and Finishing Operations*. EPA-453/R-93-025.
- [107] United States Environmental Protection Agency. (1997). *Emission Factor Documentation for AP-42. Section 9.15: Leather Tanning*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c9s15.pdf>.
- [108] United States Environmental Protection Agency. (2014). *Oil/Water Separators*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-04/documents/5_owseparators-2014.pdf.
- [109] Valencia, J. A. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3 ED. <https://catalogo.uniquindio.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26930>.

- [110] Von Sperling, M. (2007). *Biological Wastewater Treatment*. Vol 1: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. IWA Publishing. <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402086.pdf>.
- [111] Von Sperling, M., Vitorio Andreoli, C. & Fernandes, F. (2007). *Biological Wastewater Treatment*. Vol 6: Sludge Treatment and Disposal. IWA Publishing. <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402130.pdf>.
- [112] Wang, K. L., Shamas, N. K., Selke, W. A. & Aulenbach, D. B. (2010). *Handbook of Environmental Engineering - Flotation Technology*. Vol 12. DOI 10.1007/978-1-60327-133-2
- [113] Wayne T.D. (2000). *Air Pollution Engineering Manual*. 2 ED.
- [114] WGB Servicios Agropecuarios. (s.f.). *Tanque cilíndrico de 8000 litros*. Recuperado el 25 de junio de 2024 de: <https://www.agropecuariawgb.com.ar/tanques-cilindricos-tanque-cilindrico-de-8000-litros--det--Fa-art24Tanq8000>.
- [115] World Health Organization. (2000). *Air Quality Guidelines*. 2 ED. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107335>.
- [116] Yancheng Shibiao Machinery Manufacturing Co.(s.f.). *Buffing machine tannery machine for cow sheep goat leather*. Recuperado el 1 de septiembre de 2024 de <https://www.shibiaomachinery.com/buffing-machine-tannery-machine-for-cow-sheep-goat-leather-product/>.
- [117] Zagklis, D. P., Koutsoukos, P. G. & Paraskeva, C. A. (2012). *A Combined Coagulation/Flocculation and Membrane Filtration Process for the Treatment of Paint Industry Wastewaters*. Industrial & Engineering Chemistry Research. <https://doi.org/10.1021/ie302086j>.

Anexo I: Visita preliminar a curtiembres

El día 16/12/2022 se realizó una visita a dos curtiembres localizadas en el partido de Lanús. La información relevada fue considerada en la descripción del proceso productivo y en el diseño del sistema de tratamiento de efluentes líquidos de la empresa teórica *Encuerado*, abordada en el presente Proyecto Final Integrador.

La descripción de las empresas relevadas se detalla a continuación. Se evita mencionar los nombres respectivos, para preservar la confidencialidad de las mismas.

Curtiembre 1

La empresa realiza curtido vegetal, recurtido vegetal, y terminaciones (la etapa de ribera está tercerizada). Procesa cerca de 2000-3500 cueros vacunos por mes, con un total de 9 operarios, y elabora 40 artículos de distintas calidades, en función de la demanda.

En materia de efluentes líquidos industriales, la empresa genera cerca de 30-40 m³/d, de los cuales el 90% son generados durante la etapa de curtido. Solo un 10% se atribuyen a la etapa de terminación.

La planta de tratamiento de efluentes líquidos realiza el vertido final a colector pluvial. Las unidades que la conforman incluyen: tamiz, cámara de flotación por aire inducido (IAF), ecualizador con dosificadores de pH, cámara de coagulación y floculación, sedimentador primario, y cámara de cloración. Los barros generados son gestionados como residuos peligrosos, pudiendo llegar a disponer aproximadamente 1 tonelada de barro por mes.



Figura Anexo 1: Registro fotográfico - Recepción y recorte manual de materia prima.



Figura Anexo 2: Registro fotográfico - Fulones de curtido.



Figura Anexo 3: Registro fotográfico - Fulón de recurtido.



Figura Anexo 4: Registro fotográfico - Máquina rebajadora.



Figura Anexo 5: Registro fotográfico - Secado por toggling.



Figura Anexo 6: Registro fotográfico - Izq: Aplicación de pintura por rodillos. Der: Cabina para aplicación de pintura por spray.

Curtiembre 2

La empresa utiliza pieles vacunas curtidas al cromo (*wet blue*) como materia prima, y realiza las etapas de recurtido vegetal, recurtido sintético, y terminaciones. Se producen cerca de 150-200 cueros/día, con un total de 15 operarios.

La planta de tratamiento de efluentes líquidos industriales posee una capacidad de 60 m³/d y realiza el vertido final a pluvial. Las unidades instaladas incluyen: rejillas y tamiz, ecualizador, reactor biológico de Lodos Activados, cámara de aplicación de coagulante y floculante, sedimentador secundario, y cámara de cloración. Por su parte, el sistema de tratamiento de lodos comprende un tanque de espesamiento-digestión y una centrífuga de barros.



Figura Anexo 7: Registro fotográfico - Máquina rebajadora.



Figura Anexo 8: Registro fotográfico - Fulones de curtido.



Figura Anexo 9: Registro fotográfico - Maquina molisa.

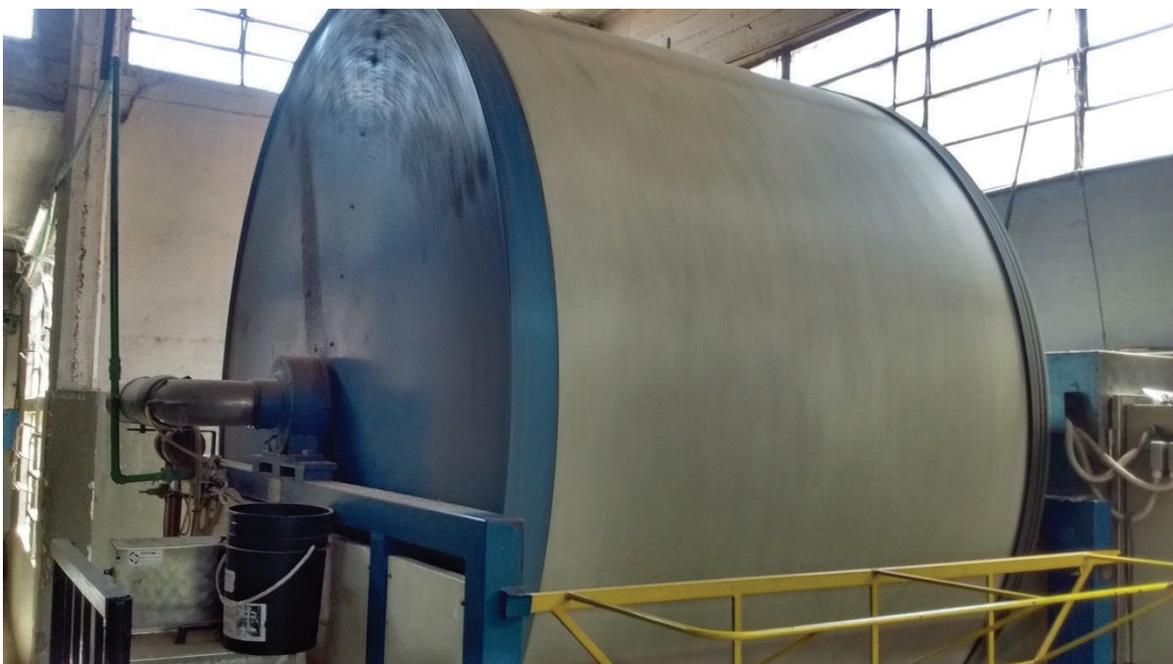


Figura Anexo 10: Registro fotográfico - Batán para ablandado.



Figura Anexo 11: Registro fotográfico - Máquina de sacado al vacío.



Figura Anexo 12: Registro fotográfico - Máquina laminadora.



Figura Anexo 13: Registro fotográfico - Cabina de pintura por spray automático rotativo.



Figura Anexo 14: Registro fotográfico - Cueros terminados.

Anexo II: Límites de vuelco a colectora cloacal

A continuación, se presenta una recopilación de los límites de vuelco para efluentes líquidos a colectora cloacal, establecidos por los diferentes entes reguladores que coexisten en el partido de Lanús.

Tabla Anexo 1: Comparación de los límites de vuelco a colectora cloacal, reportados en la normativa consultada. En verde, los valores considerados para el diseño de la planta de efluentes líquidos expuesta en el presente trabajo.

Parámetro	Res. ACUMAR N°283/19 Anexo II	Res. ADA N°336/03 Anexo II	Res. ADA N°335/08 Anexo V (1)	Dec. AySA N°999/92 Anexo B (5)	Res. OSN N°79.179/90 Anexo A	Valor más estricto
D.B.O (mg/l)	≤200	≤200	-	≤200	≤200	≤200
D.Q.O (mg/l)	≤700	≤700	-	-	-	≤700
Temperatura (°C)	≤45	≤45	-	≤45	≤45	≤45
pH (upH)	5.5 a 10.0	7.0 a 10.0	-	5.5 a 10.0	5.5 a 10	7.0 a 10.0
Sólidos Suspensidos Totales (mg/l)	NE	-	-	-	-	NE
Sólidos Sedim 10 min (ml/l)	≤0.1	Ausente	-	≤0.5	≤0.5	Ausente
Sólidos Sedim 2 horas (ml/l)	≤5.0	≤ 5.0	-	-	-	≤ 5.0
S.S.E.E (mg/l)	≤100	≤100	-	≤100	≤100	≤100
Cianuro total (mg/l)	≤1.0	-	-	-	-	≤1.0
Cianuros (mg/l)	-	-	-	≤0.1	≤0.1	≤0.1
Cianuros destructibles por cloración (mg/l)	≤0.1	≤0.1 (4)	-	-	-	≤0.1
S.A.A.M (mg/l)	≤10	≤10	-	-	-	≤10
S.R.A.O. (mg/l)	-	-	-	≤5	≤5	≤5
Fósforo total (mg/l)	≤10	≤10	-	-	-	≤10
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	≤105	≤ 105	-	-	-	≤105
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	≤75	≤75	-	-	-	≤75
Nitrógeno Orgánico (mg/l)	-	≤30	-	-	-	≤30

Parámetro	Res. ACUMAR N°283/19 Anexo II	Res. ADA N°336/03 Anexo II	Res. ADA N°335/08 Anexo V (1)	Dec. AySA N°999/92 Anexo B (5)	Res. OSN N°79.179/90 Anexo A	Valor más estricto
Inorgánicos	Aluminio (mg/l)	≤5.0	≤5.0	-	-	≤5.0
	Arsénico (mg/l)	≤0.5	≤0.5	-	≤0.5	≤0.5
	Bario (mg/l)	≤2.0	≤2.0	-	-	≤2.0
	Boro (mg/l)	≤2.0	≤2.0	-	-	≤2.0
	Cadmio (mg/l)	≤0.1	≤0.5	-	≤0.1	≤0.1
	Cinc (mg/l)	≤5.0	≤5.0	-	-	≤5.0
	Cloro Libre (mg/l)	NE	NE	-	-	NE
	Cobalto (mg/l)	≤2.0	≤2.0	-	-	≤2.0
	Cobre (mg/l)	≤2.0	≤2.0	-	-	≤2.0
	Cromo total (mg/l)	≤2.0	≤2.0	-	-	≤2.0
	Cromo hexavalente (mg/l)	≤0.2	≤0.2	-	≤0.2	≤0.2
	Hierro (soluble) (mg/l)	≤10	≤10	-	-	≤10
	Manganeso (soluble) (mg/l)	≤1.0	≤1.0	-	-	≤1.0
	Mercurio (mg/l)	≤0.005	≤0.02	-	≤0.005	≤0.005
	Níquel (mg/l)	≤2.0	≤3.0	-	-	≤2.0
	Plomo (mg/l)	≤0.1	≤1.0	-	≤0.5	≤0.1
	Selenio (mg/l)	≤0.1	≤0.1	-	-	≤0.1
Orgánicos,	Sulfatos (mg/l)	≤1000	≤1000	-	-	≤1000
	Sulfuros (mg/l)	≤1.0	≤2.0	-	≤1	≤1.0
	Sustancias fenólicas (mg/l)	≤0.5	≤2.0	-	≤0.5	≤0.5
	Carbono orgánico total (mg/l)	-	NE	-	-	NE
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	-	-	-	≤5000(2)	<5000
	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	-	≤20000	-	-	≤20000
	Hidrocarburos totales (mg/l)	≤30	≤30	-	≤50	≤30
	Hidrocarburos volátiles (mg/l)	≤1.0	-	-	-	≤1

Parámetro	Res. ACUMAR N°283/19 Anexo II	Res. ADA N°336/03 Anexo II	Res. ADA N°335/08 Anexo V (1)	Dec. AySA N°999/92 Anexo B (5)	Res. OSN N°79.179/90 Anexo A	Valor más estricto
Aldrín (ug/l)	<0.01	-	-	-	-	<0.01
Clordano (ug/l)	<0.1	-	-	-	-	<0.1
DDT (ug/l)	<1	-	-	-	-	<1
Dieltrín (ug/l)	<0.01	-	-	-	-	<0.01
Endosulfán (ug/l)	<0.02	-	-	-	-	<0.02
Endrín (ug/l)	<0.04	-	-	-	-	<0.04
Heptacloro (ug/l)	<0.04	-	-	-	-	<0.04
Heptacloro epóxido (ug/l)	<0.04	-	-	-	-	<0.04
Hexacloro benceno (ug/l)	<0.01	-	-	-	-	<0.01
Lindano (ug/l)	<3	-	-	-	-	<3
Metoxicloro (ug/l)	<30	-	-	-	-	<30
Paration (ug/l)	<0.65	-	-	-	-	<0.65
Malation (ug/l)	<0.65	-	-	-	-	<0.65
2,4 D (ug/l)	<4	-	-	-	-	<4
Plaguicidas Organoclorados (mg/l)	-	≤0.5	-	-	-	≤0.5
Plaguicidas Organofosforados (mg/l)	-	≤1.0	-	-	-	≤1.0
Benceno (ug/l)	-	-	130/20000	-	-	130/20000
Etil-Benceno (ug/l)	-	-	1590/16000	-	-	1590/16000
Tolueno (ug/l)	-	-	1360/17000	-	-	1360/17000

(1) Se utilizaron los datos de niveles de Inspección para Toxicidad por Gas/Vapor y los niveles de Inspección para Explosividad (mg/l) de la Tabla 4.2.

(2) En caso que OBRAS SANITARIAS DE LA NACION considere procedente el pedido, la descarga deberá tener menos de 5.000 coliformes totales por 100 ml.

(3) En algunos casos se pide 0,5 mg/L.

(4) En la tabla "Parámetros de calidad de las descargas límites admisibles" el parámetro nombrado "cianuros" utiliza la misma técnica analítica que el parámetro "cianuros destructibles por cloración" (técnica: 4500 CN C y E) por lo que se los consideró iguales en este caso.

(5) Se consideraron los valores del Anexo de la columna "Desagües a colectoras" correspondiente aguas crudas sin tratamiento

Anexo III: Tablas resumen de las alternativas de tratamiento de efluentes líquidos y emisiones gaseosas propuestos

A continuación, se presentan tablas resumiendo las alternativas de tratamiento planteadas para adecuar los efluentes líquidos y las emisiones gaseosas generadas por *Encuerado*.

Tabla Anexo 2: Resumen y comparación de las alternativas de tratamiento consideradas para adecuar los efluentes líquidos generados por la firma *Encuerado* (ver Figura 14)

Etapa	Alternativa #1	Alternativa #2
Separación inicial	Separación inicial de las corrientes a tratar, basada en las características similares de los efluentes líquidos: terminación, curtido y recurtido, y cloacales.	
Pretratamiento	<p>Líneas de terminación y de curtido y recurtido: ambas incluyen un sistema de desbaste (rejas o canasto) para la remoción de sólidos gruesos, una unidad de aforo de caudal, y un equalizador para homogeneizar la calidad y el caudal del efluente ingresante. La línea de curtido y recurtido también incluye un tamiz para la remoción de sólidos finos.</p> <p>Línea de cloacales: sólo se contempló una remoción de sólidos gruesos mediante canasto, antes de ingresar a la línea de tratamiento secundario.</p>	
Tratamiento primario	<p>Línea de curtido y recurtido: se proyectó una cámara de remoción de grasas, seguido por una unidad de precipitación de cromo acoplada a un sedimentador primario.</p> <p>Línea de terminación: se propuso un sistema de coagulación y floculación, acoplado a una cámara de flotación por aire disuelto (DAF).</p>	<p>Línea de curtido y recurtido, se proyectó una unidad de precipitación de cromo acoplada a una cámara de flotación por aire inducido (IAF). Luego de esta instancia, los efluentes se combinan con la línea de terminación.</p> <p>Línea de terminación: se propuso un sistema de coagulación y floculación, seguido de un sedimentador primario.</p>
Tratamiento secundario	<p>Se concibió una cámara de partición, donde confluyan las tres líneas de aguas residuales. La mezcla resultante es tratada en un reactor de lodos activados con cámara preanóxica, diseñado para remover compuestos orgánicos biodegradables y nitrógeno disuelto.</p> <p>El tratamiento concluye con un sedimentador secundario y una unidad de aforo de caudal.</p>	<p>Se concibió una cámara de partición, donde confluyan las tres líneas de aguas residuales. La mezcla resultante es tratada en un lecho percolador y un reactor de lodos activados, diseñados para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables.</p> <p>El tratamiento concluye con un sedimentador secundario y una unidad de aforo de caudal.</p>
Tratamiento de lodos	<p>Se propuso una separación de los barros generados como producto del tratamiento de los efluentes líquidos, basado en su contenido de cromo.</p> <p>Tratamiento de lodos con cromo: se proyectó mediante un espesador y una posterior instancia de deshidratación por filtro prensa.</p> <p>Tratamiento de lodos sin cromo: se proyectó mediante un espesador, una unidad de digestión biológica para estabilizar fangos biológicos, y una instancia de deshidratación por filtro prensa.</p>	

Tabla Anexo 3: Comparación de las alternativas de captación y tratamiento de las emisiones gaseosas generadas por *Encuerado*, vinculadas a las etapas de terminación y pulido del cuero

	Componente	Alternativa #A	Alternativa #B
Etapa de pulido	Campana de captación	Campanas de proceso confinado, para controlar las emisiones de Material Particulado (MP) generadas en ambas máquinas pulidoras	
	Unidad de tratamiento	Separador ciclónico para retener MP	
	Sistema de conducción y extracción	Impulsión del aire a través de conductos de transporte, unidad de tratamiento, y hasta la chimenea de descarga, mediante el empleo de un ventilador centrífugo	
Etapa de terminación	Campana de captación	Depresión de la cabina de pintura automática, más campana suspendida sobre zona <i>flash off</i> , para controlar las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	
	Unidad de tratamiento	Incinerador térmico para oxidar COVs	Adsorción de COVs en un lecho fijo con carbón activado
	Sistema de conducción y extracción	Impulsión del aire a través de conductos de transporte, unidad de tratamiento, y hasta la chimenea de descarga, mediante el empleo de un ventilador centrífugo	

Anexo IV: Equipamiento instalado



Técnico

Caudal real calculado	37.08 m ³ /h
Caudal máximo	63.9 m ³ /h
Altura resultante de la bomba	7.004 m
Altura máxima	15.8 m
Tipo de impulsor	SINGLE CHANNEL
Partícula máx.	50 mm
Presión de trabajo máxima	6 bar
Tamaño de la conexión de salida	DN 65
Maximum installation depth	7 m
Inst. en seco/húmeda	SUBMERGED

Datos eléctricos

Potencia de entrada P1	1.6 kW
Potencia nominal - P2	1.1 kW
Frecuencia de red	50 Hz

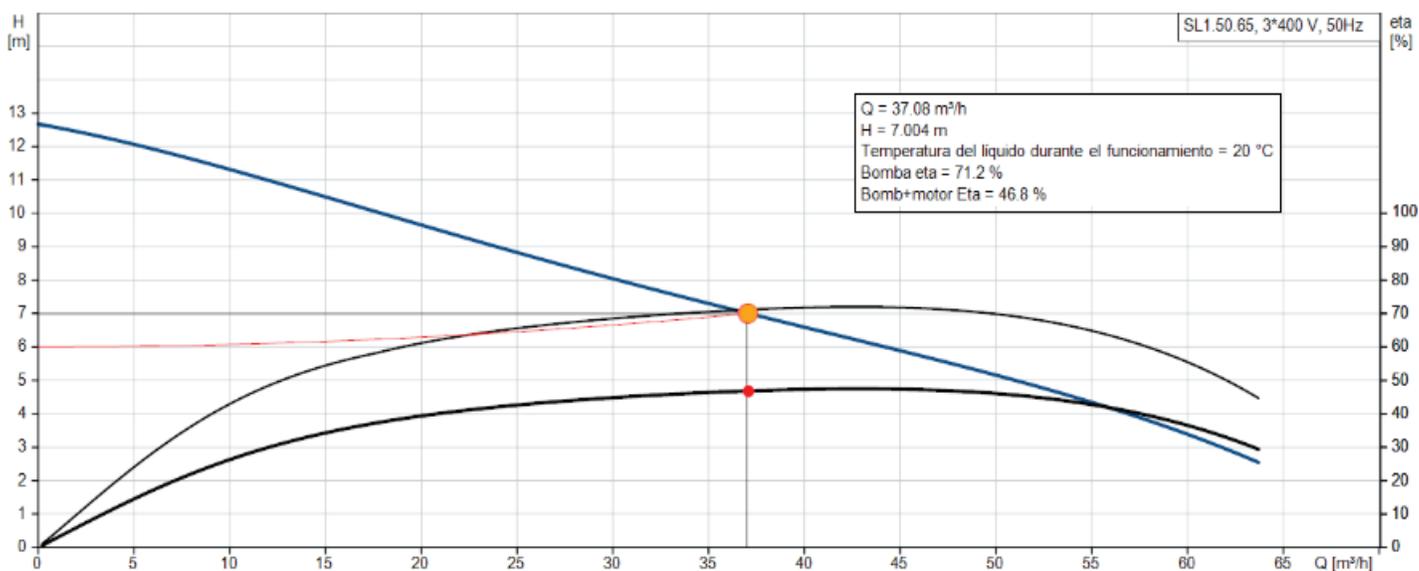


Figura Anexo 15: Especificaciones y curva característica de la bomba Grundfos SL1.50.65.11.2.50B, para ser utilizada en la estación de bombeo de la línea de curtido y recurtido. Ref.: [33].



Datos Técnicos

Caudal máx.	15 m ³ /h
Altura máx.	14.4 m
Tipo de impulsor	SIST TRITURADOR
Presión de trabajo máxima	6 bar
Conexión de la red de tuberías	DN 40/50
Salida de bomba	DN 40
Presión nominal	PN 10
Profundidad máxima de instalación	7 m
Inst. en seco/húmeda	SUBMERGED

Datos eléctricos

Potencia de entrada - P1	1.3 kW
Potencia nominal - P2	0.9 kW
Frecuencia de red	50 Hz

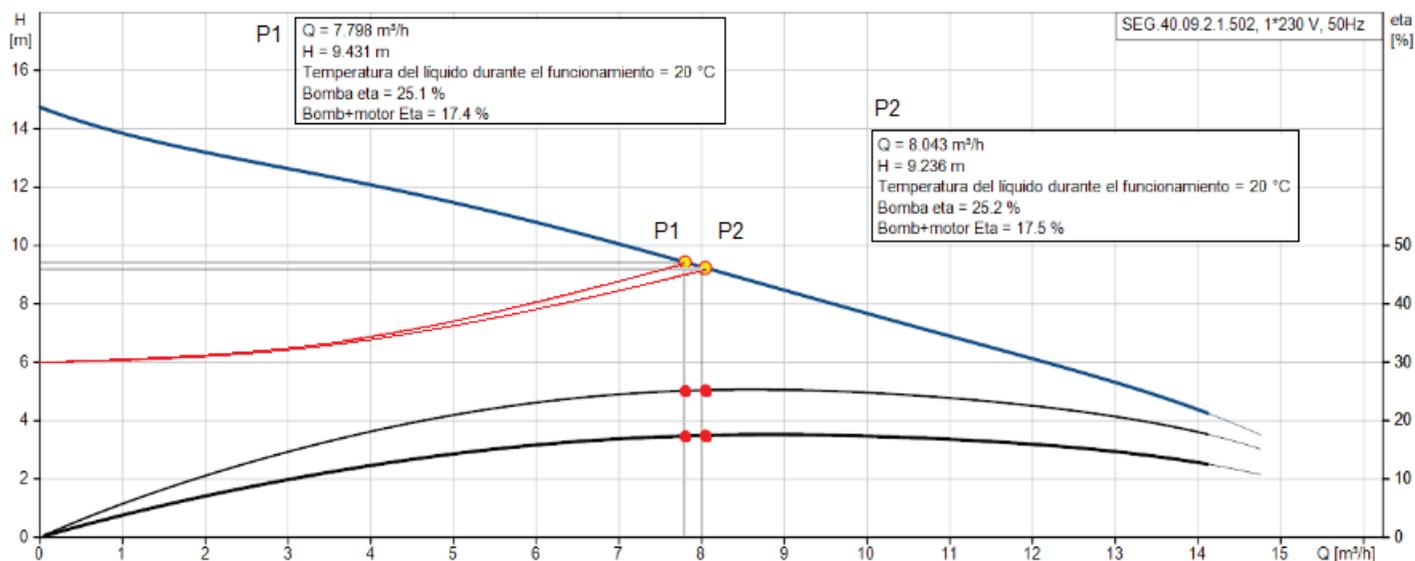


Figura Anexo 16: Especificaciones y curva característica de la bomba Grundfos SEG.40.09.2.1.502. P1: Punto de operación para ser utilizada en el equalizador de la línea de curtido y recurtido. P2: Punto de operación para ser utilizada en la cámara de partición de la línea de tratamiento secundario. Ref.: [33].



Datos Técnicos

Caudal máx.	24.5 m ³ /h
Altura máx.	7.5 m
Tipo de impulsor	SUPER VORTEX
Presión de trabajo máxima	6 bar
Tamaño de la conexión de salida	DN 65
Presión nominal para la conexión	PN 10
Profundidad máxima de instalación	7 m
Inst. en seco/húmeda	SUBMERGED

Datos eléctricos

Potencia de entrada - P1	1.4 kW
Potencia nominal - P2	0.9 kW
Frecuencia de red	50 Hz

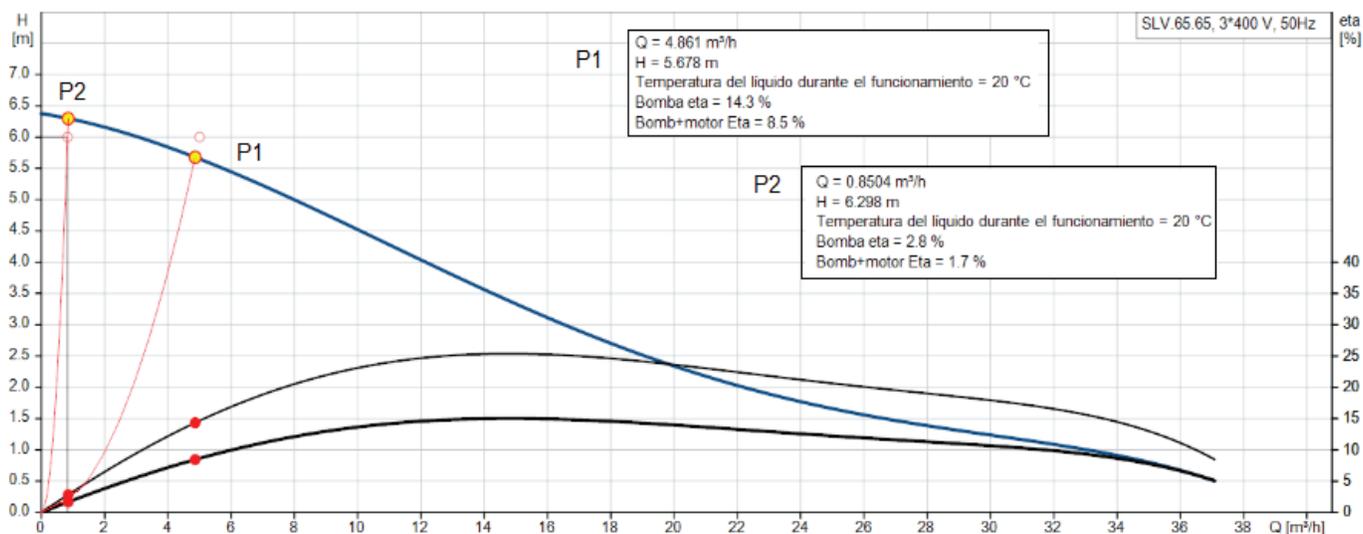


Figura Anexo 17: Especificaciones y curva característica de la bomba Grundfos SLV.65.65.09.2.50B. P1: Punto de operación para ser utilizada en la estación de bombeo de la línea de terminación. P2: Punto de operación para ser utilizada en el equalizador de la línea de terminación. Ref.: [33].



Pre-Fabricated Wastewater Pumping Stations GRUNDFOS PLS

APPLICATIONS

- Municipal wastewater
- Stormwater runoff
- Industrial wastewater
- Commercial wastewater

KEY FEATURES AND BENEFITS

- Modular system design comprised of pumps, collection tank, piping, valves, controls and level sensors, allows for application flexibility while delivering a complete packaged solution
- Separate wet well and valve box provides easy access to valves and emergency connections making operation and service simple
- Dual enclosure system design minimizes corrosion related issues and other risks associated with a single wet well basin
- High quality discharge pipe using 304 SS pipe with outlet connections
- Single system supplier simplifies installation and start-up

RANGE DATA

PLS MODEL	Basin Diam. (in)	Basin Depth (in)	Pipe Diam. (in)	Basin Hatch Frame Opening (in)	Valve Box Diam./Depth (in)	Valve Box Hatch Length/Width (in)
PLS.D36.L96.A20.V	36	96	2"	18 / 27	36 / 36	18 / 27
PLS.D36.L120.A20.V	36	120	2"	18 / 27	36 / 36	18 / 27

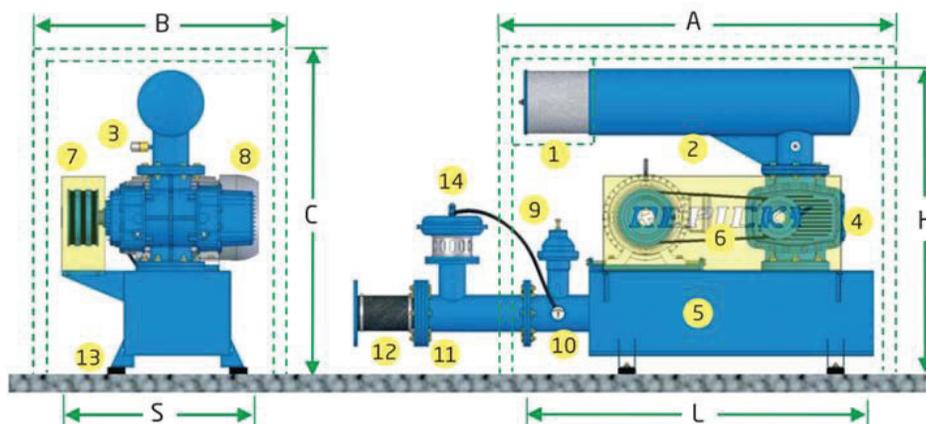
Figura Anexo 18: Estación de bombeo prefabricada, marca Grundfos, para ser utilizada en la línea de curtido y recurtido (PLS.D36.L120.A20.V) y en la línea de terminación (PLS.D36.L96.A20.V). Ref.: [40].

Tabla de Selección de Sopladores trabajando como Compresor

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de aspiración como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a presión atmosférica normal $P = 1013 \text{ mbar}$ y temperatura de admisión del aire $T = 20^\circ\text{C}$.
Para otros gases y/o condiciones operativas, consultar.



$\Delta p(\text{mbar})$		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000		
Modelo	RPM	Q m³/h	P HP																			
R200	1450	63	0,6	52	0,9	43,3	1,3	35,9	1,6	78,1	2,9	72,1	3,4									
	2250	112	0,9	101	1,4	92,1	1,9	84,6	2,4	118	3,8	112	4,5	106	5,1	101	5,7					
	2900	152	1,2	140	1,8	132	2,4	124	3,1	158	5,1	152	6,0	146	7,0	140	7,8					
	4500	249	1,7	238	2,8	229	3,8	222	4,9	215	5,8	209	6,9	204	7,9							
R500	1450	142	1,0	132	1,6	112	2,3	101	3,0	91	3,6	82	4,3	74	4,9							
	2250	241	1,5	225	2,5	211	3,6	200	4,6	190	5,6	181	6,7	173	7,8							
	2900	322	1,9	306	3,3	292	4,6	281	5,9	271	7,3	262	8,6	254	10,0	246	11,3					
	4500	521	3,0	504	5,0	491	7,1	480	9,2	470	11,3	461	13,4	452	15,4	444	17,6	437	19,6			



Referencias:

- 1- Filtro de aire
- 2- Silenciador de admisión (para equipos de vacío lleva brida ANSI para conexión a proceso)
- 3- Indicador de filtro obstruido (IFO)
- 4- Soplador o Cabezal
- 5- Base compacta con silenciador de impulsión incluido
- 6- Transmisión por correas y poleas o acople elástico.
- 7- Cubretransmisión
- 8- Motor normalizado (puede ser provisto por el cliente)
- 9- Válvula de alivio por presión o vacío.

10- Manómetro en baño de glicerina

- 11- Válvula de retención a clapeta
- 12- Amortiguador de vibraciones de caucho
- 13- Tacos antivibratorios (pueden ser provistos por el cliente)

Opcionales:

- 14- Válvula automática para arranque sin carga y pieza Tee.
- Cabina acústica panelizada con reducción entre 15 y 20 db (A) dependiendo condiciones operativas.
- Termómetro con o sin contacto de máxima
- Presóstato y/o vacuóstato
- Amortiguador de vibraciones de acero inoxidable
- Motores especiales.

Medidas generales en mm								
Modelo	A	B	C	L	S	H	Conexión Salida	Peso sin motor ni cabina [kg]
R200	850	500	590	950	432	572	2" BSP	93
R500	1125	864	1000	965	674	799	3" Brida ANSI	261

Figura Anexo 19: Características y dimensiones de los sopladores de aire Repicky R200 y R500. Ref.: [80].



Figura Anexo 20: Características y dimensiones de los difusores de burbuja gruesa Repicky CB-300. Ref.: [79].

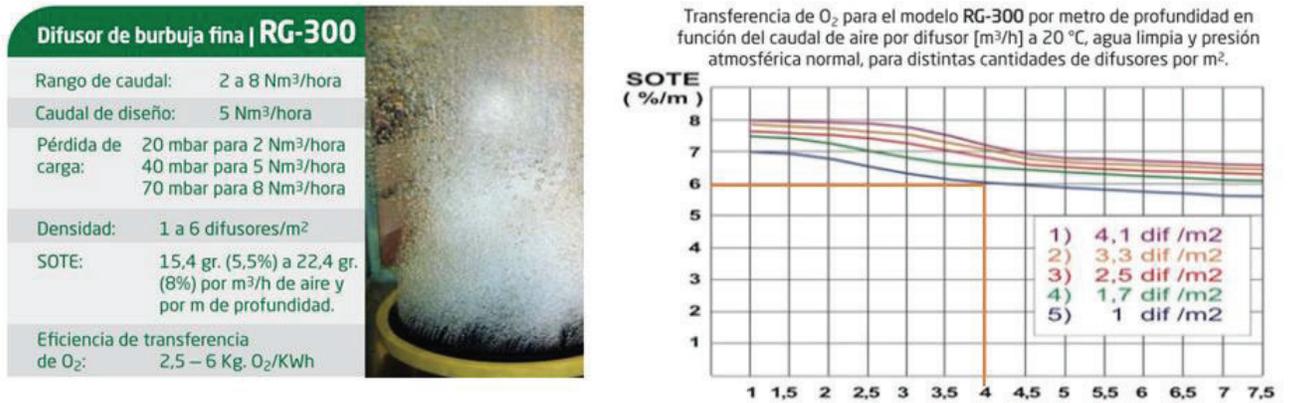


Figura Anexo 21: Izq: Características de los difusores de burbuja fina Repicky RG-300. Der: Eficiencia de transferencia de oxígeno por metro de profundidad, para los difusores Repicky RG-300. Ref.: [79].

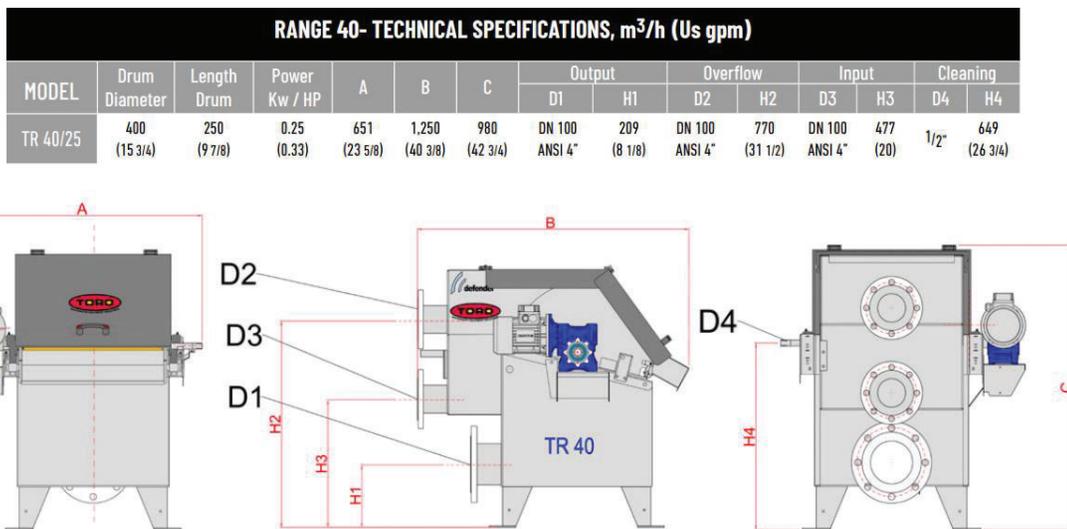


Figura Anexo 22: Dimensiones del tamiz rotativo Defender TR 40/25. Ref.: [99].



SPECIFICATION	
Belt Size	Length 2m, width 0.5m as standard or 1m Optional
Belt Material	Polyurethane -20 to +65°C
Motor	400 V/50 Hz/0.18 Kw
Belt Controller	Mechanical Variator
Body Material	Stainless steel
Fixings	Wall or floor mount: optional floating weir
Heater (optional)	K type thermistor, 200W heater plate, programmable control
Timer	Programmable timer

Figura Anexo 23: Dimensiones del dispositivo *skimmer* Smart Storm Greasebuster. Ref.: [93].



Características generales

Marca	Waterplast
Capacidad en volumen	750 L
Altura	112 cm
Diámetro	97 cm

Características de la estructura

Materiales de la estructura	Polietileno
Cantidad de capas	3

Figura Anexo 24: Dimensiones del tanque de agua adaptado para funcionar como unidad de mezcla rápida para la precipitación de cromo. Ref.: [53].

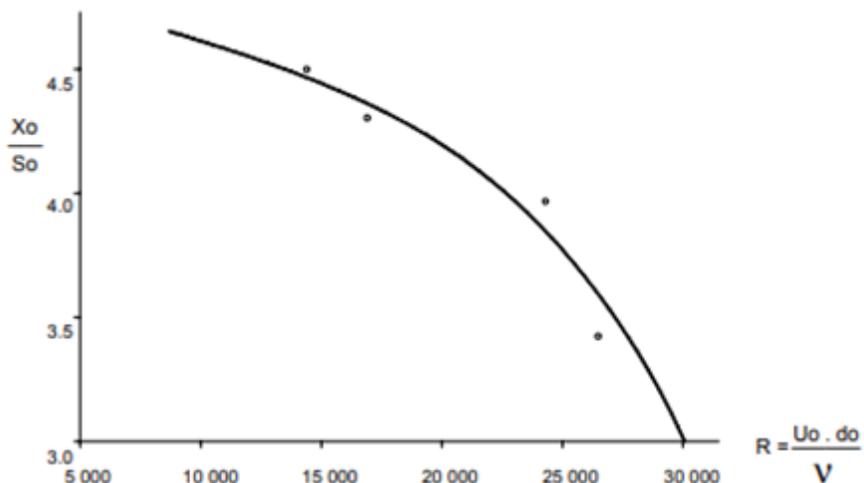


Figura Anexo 25: Variación de X0/S0 en función del número de Reynolds, donde X0 es el alcance de los chorros ocasionados en los orificios de una placa sumergida, y S0 es la distancia entre centros de orificios. Ref.: [24].

Typical Applications

- Admixing of water treatment chemicals
- pH control
- Chlorination and ozonation
- Process control sampling

Static mixers are versatile devices for a wide range of industries and applications beyond those listed above. For questions regarding your specific application, feel free to [Contact Us](#).

Features

Housing: Schedule 80 PVC
Elements: Koflo Blade™ Style PVC
End Connections: Male NPT (Threaded Ends)

- PVC construction provides a durable and cost-effective mixing option
- Mixers are edge-sealed using a high-strength PVC solvent cement to ensure efficient mixing
- Third party certified to NSF / ANSI 61

Custom PVC

Koflo offers custom-designed PVC mixers with a number of available options to suit your application. Click below for Custom PVC options and information.

[PVC](#)
Custom Static Mixers



Technical Specifications

Model Number	Pipe Dia. MNPT Ends	Number of Elements	Length	Weight	Max. Working Pressure (PSI @ 75°F)	Max. Working Temperature (°F)
1.25-80-4-12-2	1.25"	12	25"	1.45	260	120

Size	12 Element Model Number	"A" 12 Element
1-1/4"	1.25-80-4-12-2	25"

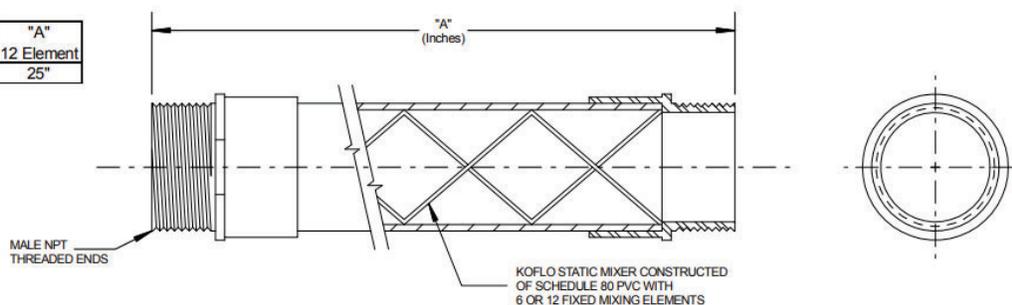


Figura Anexo 26: Dimensiones y especificaciones del mezclador estático KOFLO 1-40-3-12-2. Ref.: [44].



Características generales

Marca	Waterplast
Capacidad en volumen	525 L
Altura	105 cm
Diámetro	88 cm

Características de la estructura

Materiales de la estructura	Poliétileno
Cantidad de capas	3

Figura Anexo 27: Dimensiones del tanque de agua adaptado para funcionar como floculador de la línea de terminación. Ref.: [54].



Brand Name	YOSUN
Material	Carbon steel or SUS304
Weight	1-5KG
Size	200mm*80mm
Capacity	1.25-5m3/h
Application	Wastewater Treatment

Figura Anexo 28: Especificaciones del difusor comercial para sistemas DAF YOSUN YJ-1.25. Ref.: [4].



Características generales

Marca	Branx
Modelo	BRXC-2525
Capacidad del tanque	25 L
Voltaje	220V
Frecuencia	50 Hz
Fase eléctrica	Monofásica

Especificaciones

Nivel de ruido	95 dB
Potencia	2 hp
Caudal de aire	160 l/min
Presión máxima	115 psi
Velocidad de rotación	2850 rpm

Figura Anexo 29: Especificaciones del compresor Branx BRXC-2525. Ref.: [51].



Características principales

Marca	Genérica
Modelo	Cerrado 200
Capacidad en volumen	200 L

Otras características

Material	Plástico
Productos aptos	No comestibles
Altura	90 cm
Diámetro	60 cm

Figura Anexo 30: Dimensiones del tanque de agua adaptado para funcionar como cámara de partición del sistema DAF. Ref.: [52][54].



Datos Técnicos

Producto	UP 20-45 N 150
Presión de trabajo máxima	10 bar
Tipo de conexión	G
Tamaño de la conexión	1 1/4 inch
Presión nominal para la conexión	PN 10
Longitud puerto a puerto	150 mm
Cuerpo hidráulico	Acero inoxidable

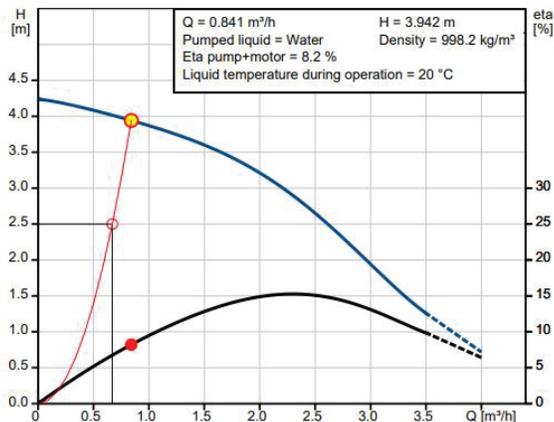


Figura Anexo 31: Especificaciones y punto de operación de la bomba Grundfos UP 20-45 N 150. Ref.: [33].



Tanque de presión horizontal de acero al carbono 24L 50L 80L 100L para bomba de agua

Material	Acero carbono
Volumen	19L/24L/39L/50L/80L/100L
Presión máxima de trabajo	6bar/8bar
Conexión	G1 " , G3/4"
Tamaño	45*28*30cm

Figura Anexo 32: Especificaciones del tanque de presurización Hanner 24L. Ref.: [5].



TANQUE CILINDRICO DE 8000 LITROS

CÓDIGO: FA-ART24TANQ8000 | MARCA: HÉRCULES

Tanque Cilíndrico. Base de Chapa N°16, lateral chapa N°18, Tapa chapa N°20, Diámetro Base: 2,30M Altura: 2M

Figura Anexo 33: Dimensiones del tanque de agua adaptado para funcionar como cámara de partición para la línea de tratamiento secundario. Ref.: [114].

MODEL #	
HD1K	
OPERATING LEVELS	
MIN FLOW	1 GPM
MAX FLOW	200 GPM
HEAD RANGE	Up to 170 ft
DISCHARGE SIZE	1 inch
SUCTION SIZE	1.5 inch
SOLIDS HANDLING	Solids up to 0.75 inches
MOTOR SPEED	1800 RPM, 3600 RPM
PERCENT SOLIDS	Up to 40-70% Solids
PRODUCTION RATE	0-15 yd ³ /hr



*Typical Deployment Photo. Dredge pumps can be deployed vertically or horizontally. Photos for general guidance. Contact us for further details.

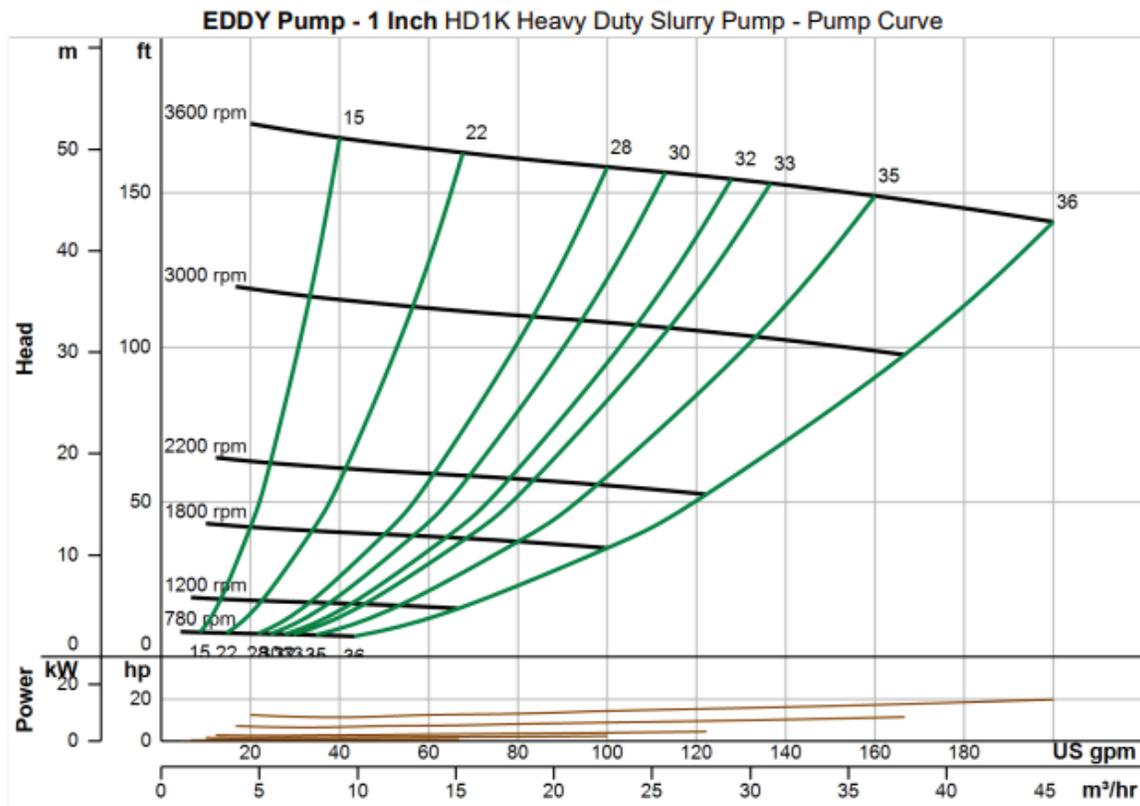


Figura Anexo 34: Especificaciones y curva característica de la bomba EDDY Pump HD1K, para la succión de lodos generados en el sedimentador primario de la línea de curtido, el sistema de flotación DAF de la línea de terminación, y el sedimentador secundario de la línea de tratamiento biológico. Ref.: [22].



Modelo	Tamaño de placas mm	Presión de trabajo bar		N. de placas instaladas	
		Min.	Max.	Min.	Max.
KE 500	500 x 500	12	30	15	60

Volumen de torta [l]		Superficie filtrante [m ²]		Longitud [mm]		Peso en vacío [Kg]	
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
60	250	6	22	1560	3770	850	1422

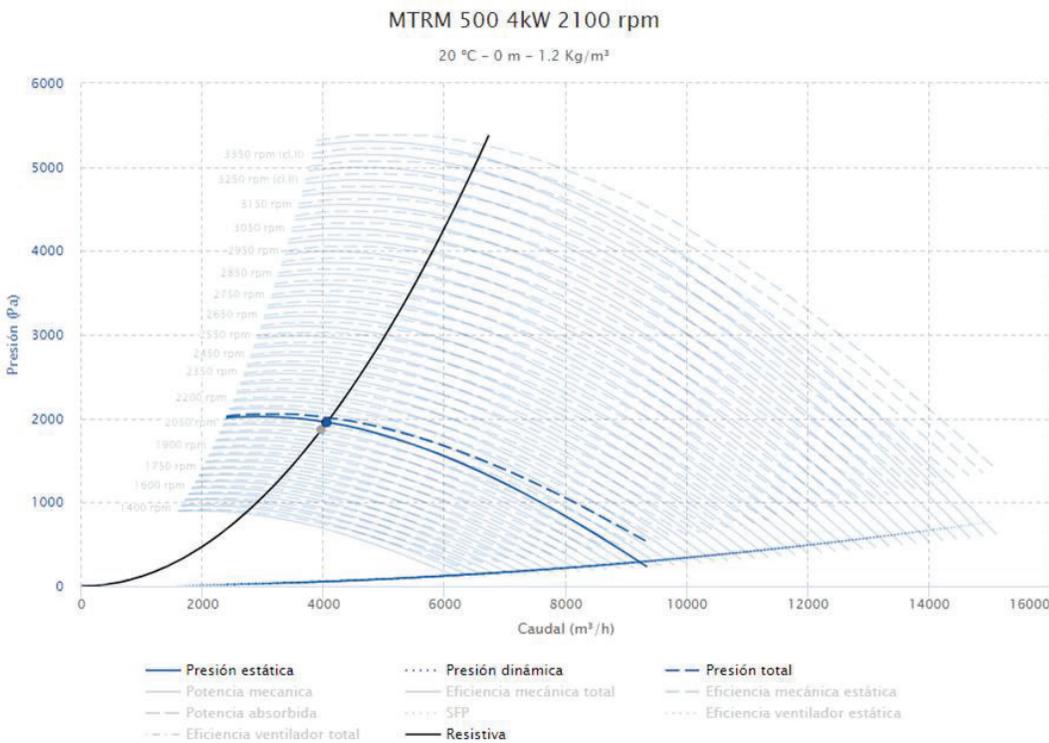
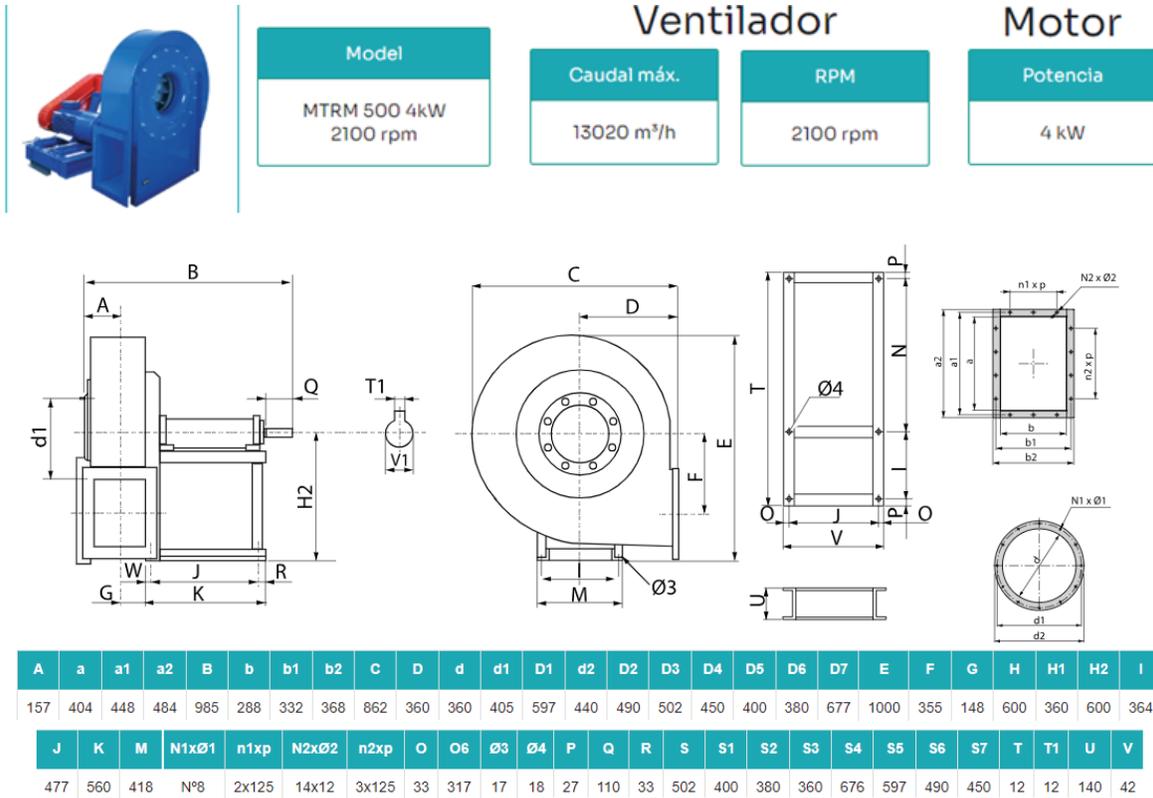
Figura Anexo 35: Especificaciones del filtro prensa DIEMME KE 500. Ref.: [19].



smerigliatrice buffing mc		optima 22	
larghezza lavoro working width	mm	2250	
potenza installata installed power	kW	33	
consumo aria air consumption	cm ³ /min	1480	
dimensioni ingombro space required	mm	4250x2000 1500h	
peso netto net weight	Kg	3400	
velocità di lavoro speed work	m/min.	0-30	

Le misure e i dati tecnici non sono impegnativi
 Technical characteristics and dimensions are not binding

Figura Anexo 36: Especificaciones de máquina pulidora comercial, utilizada como referencia para estimar la abertura de trabajo $A_{t_{pul}}$. Ref.: [94].



Punto de servicio	
Velocidad	2100 rpm
Temp. max. (°C)	300.00
Q (m³/h)	4056.04
Ps (Pa)	1955.82
Pd (Pa)	55.94
Pt (Pa)	2011.76
Velocidad del aire (m/s)	9.66
Coefficiente de seguridad	1.19
Eficiencia mecánica total (%)	67.43
Eficiencia ventilador total (%)	59.98
Pot _{mec} (kW)	3.35
Pot _{abs} (kW) 1.20 Kg/m ³	3.77
Pot _{recom} (kW)	4
SFP (W/l/s) 1.20 Kg/m ³	3.34

Figura Anexo 37: Especificaciones y curva característica del ventilador centrífugo Casals MTRM 500, para la impulsión del SCE vinculado a la etapa de pulido. Ref.: [17].

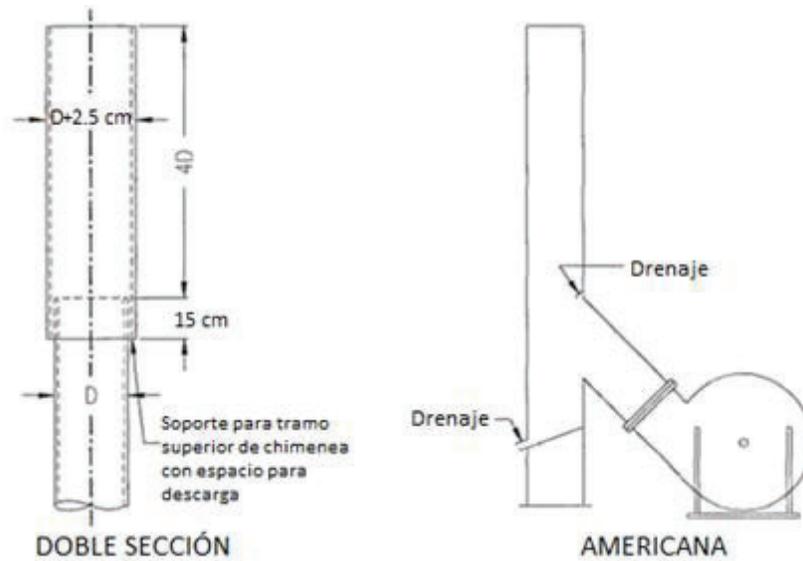


Figura Anexo 38: Izq.: Esquema de chimenea de descarga con doble sección. Der.: Esquema de chimenea de descarga tipo americana, ventilador desplazado y conexión a 45°. Ref.: [2] [72].

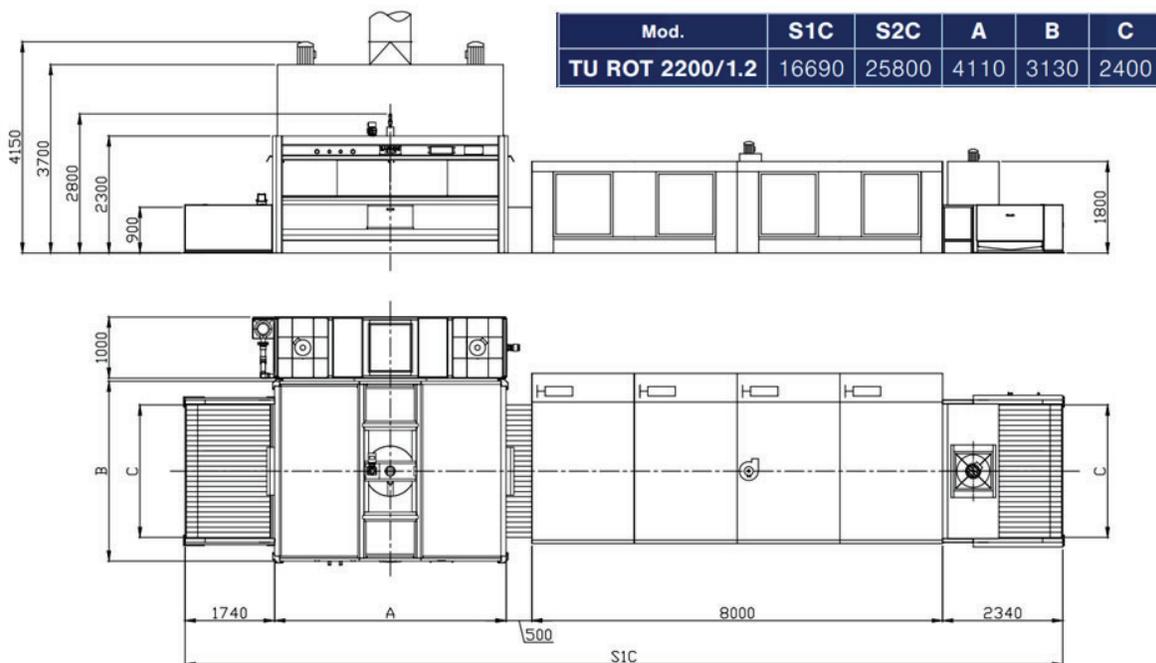


Figura Anexo 39: Dimensiones de modelo comercial para cabina de pintado con revolver automático, más túnel de secado. Utilizado como referencia para estimar la abertura de trabajo $A_{t_{pint}}$ y el ancho $W_{t_{tunel}}$. Ref.: [12].



Ventilador

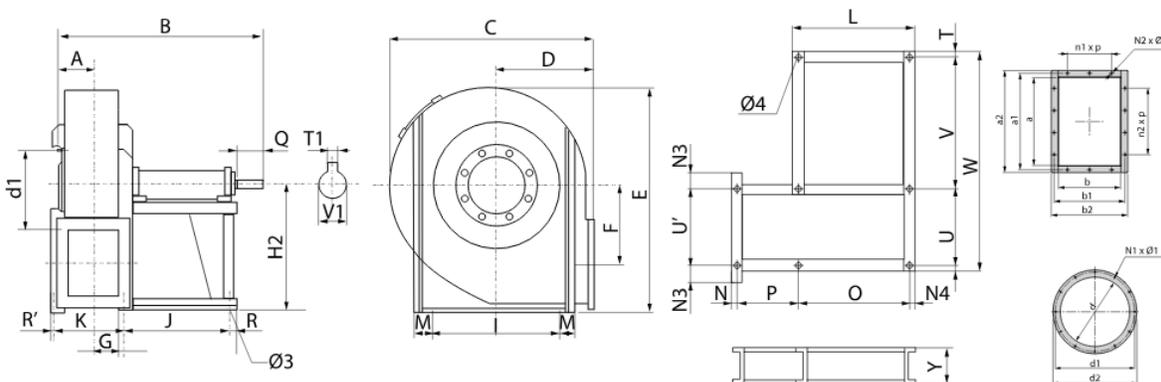
Motor

Model
MTRM 710 7,5kW 1400rpm (std)

Caudal máx.
23350 m³/h

RPM
1400rpm

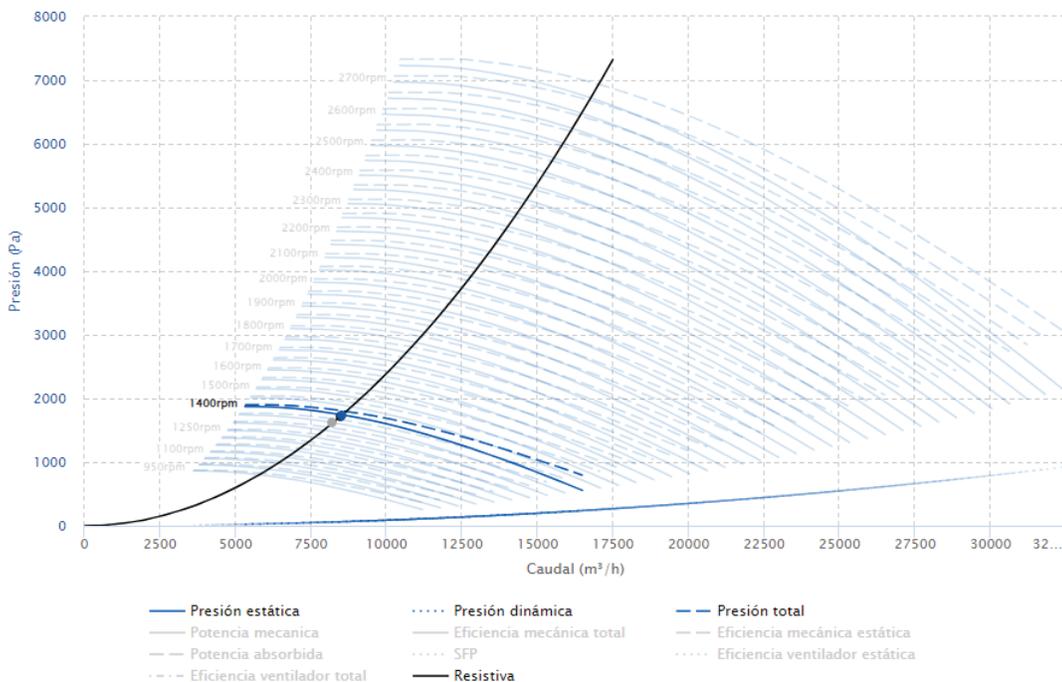
Potencia
7,5 kW



A	a	a1	a2	B	b	b1	b2	C	D	d	d1	d2	E	F	G	H2	I	J	K	L	M
216	569	629	669	1241	404	464	504	1190	500	505	551	585	1415	500	262	670	772	551	497	629	71
N	N1xØ1	n1xp	N2xØ2	n2xp	N3	N4	O	Ø3	Ø4	P	Q	R	R'	T	U	U'	V	V1	W	Y	
27	N°12	M8x25	2x160	14x14	3x160	71	39	551	19	20	497	110	39	27	14	772	772	807	48	1633	180

MTRM 710 7,5kW 1400rpm (std)

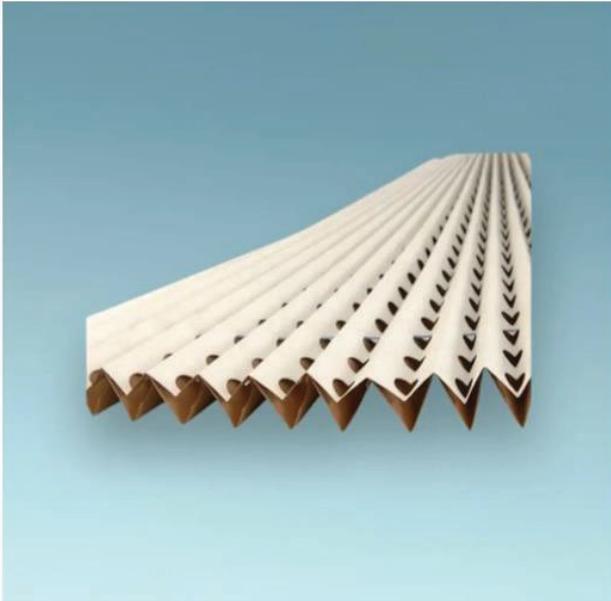
20 °C - 0 m - 1.2 Kg/m³



Punto de servicio	
Velocidad	1400rpm
Temp. max. (°C)	300.00
Q (m³/h)	8532.65
Ps (Pa)	1742.25
Pd (Pa)	63.86
Pt (Pa)	1806.11
Velocidad del aire (m/s)	10.32
Coefficiente de seguridad	1.29
Eficiencia mecánica total (%)	73.67
Eficiencia ventilador total (%)	67.01
Pot _{mec} (kW)	5.81
Pot _{abs} (kW) 1.20 Kg/m³	6.39
Pot _{recom} (kW)	7,5
SFP (W/l/s) 1.20 Kg/m³	2.70

Figura Anexo 40: Especificaciones y curva característica del ventilador centrífugo Casals MTRM 710, para la impulsión del SCE vinculado a la etapa de terminación. Ref.: [17].

Filtro Laberintico:



Serie: AP

Grupo: Filtro de Papel Plisado

Modelo: APP25

Eficiencia: a 0,75 m/s (prueba ASHRAE modificada) 91% a 98,1%

Características técnicas

El filtro está formado por un medio filtrante de papel tipo «Craft» dispuesto en forma plisada, con un sobre pliegue interior perforado de manera de captar el overspray generado en las funciones de pintado. Este tipo de material posee una gran capacidad de acumulación de polvo, permitiendo la incineración de todo el filtro. Durante la vida del filtro, no habrá variación en la pérdida de carga a causa de la retención de pintura. Los filtros sólo se obstruirán cuando estos estén totalmente cargados. A diferencia de este tipo de filtro, un filtro de malla se cargará rápidamente provocando un aumento en la pérdida de carga del sistema. Rango de eficiencia (promedio): Pérdida de carga inicial: 191 – 98,1 % a 0,75 m/seg 1,3 mm C.A. (13 Pa) a 0,50 m/seg 3,0 mm C.A. (30 Pa) a 0,75 m/seg 5,6 mm C.A. (56 Pa) a 1,00 m/seg Pérdida de carga final (recomendada): 13 mm C.A. (130 Pa) Recomendación de instalaciones: 25 pliegues por metro Eficiencia y capacidad de acumulación de polvo a 13 mm C.A. (130 Pa)

Figura Anexo 41: Especificaciones del filtro laberintico de papel plisado APP25, considerado para el cálculo de la pérdida de carga del SCE vinculado a la cabina de pintura. Ref.: [26].

Anexo V: Pérdida de carga del sistema de ventilación localizada propuesto - Planilla de cálculos

Tabla Anexo 4: Cálculo de la pérdida de presión en los diferentes tramos del SCE_{MP} propuesto para *Encuerado* y vinculado a las emisiones la etapa de pulido. Las flechas indican el método de acumulación para obtener la pérdida de presión ha_{SCE MP}. Verde: valores usados para calcular la potencia mecánica del ventilador.

Tramo	1-A	2-A	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	
Descripción del tramo	Ramal, de pulidora 1 a nodo A	Ramal, de pulidora 2 a nodo A	Troncal, de nodo A a SC	Unidad de tratamiento SC	Troncal, de SC a ventilador	Sección de ingreso del ventilador	Sección de salida del ventilador	Troncal, de ventilador a descarga final
Caudal circulando (m³/s)	Q _{ASCE MP I} 0.56 (Q _{AC MP})	0.56 (Q _{AC MP})	1.13 (Q _{INSC})	1.13 (Q _{INSC})	1.13 (Q _{INSC})	1.13 (Q _{AV MP})	1.13 (Q _{AV MP})	1.13 (Q _{AV MP})
Diámetro adoptado (m)	D _{SCE MP I} 0.22	0.22	0.31	-	0.31	0.31	0.31	0.31
Vel. de transporte (m/s)	v _{MP I} 14.8	14.8	14.9	14.1 (v _{INSC})	14.9	14.9	14.9	14.9
Longitud estimada (m)	L _{SCE MP I} 10.25	4.00	3.25	-	3.00	-	-	3.00
Pérdidas en tramos rectos p/fricción (mm _{H2O})	h _{1SCE MP I} 12.8	5.0	2.7	-	2.5	-	-	2.5
Coef. de accesorios	ΣK _{ASCE MP I} 0.54	0.63	0.15	-	0.40	0.50	0.50	1.28
Altura dinámica (mm _{H2O})	h _{D SCE MP I} 13.39	13.39	13.58	12.09	13.58	13.58 (h _{Dev MP})	13.58 (h _{Dsv MP})	13.58
Pérdidas localizadas p/accesorios (mm _{H2O})	h _{2SCE MP I} 7.2	8.4	2.0	-	5.4	6.8	6.8	17.4
Coef. por entrada de aire	K _{CSCE MP RI} 0.25	0.25	-	-	-	-	-	-
Pérdidas en ramal p/ingreso de aire (mm _{H2O})	h _{3SCE MP RI} 16.7	16.7	-	-	-	-	-	-
Altura dinámica disponible en troncal (mm _{H2O})	h _{DD SCE MP TI} -	-	13.39	-	12.09	13.58	13.58	13.58
Pérdidas en troncal p/aceleración (mm _{H2O})	h _{3SCE MP TI} -	-	0.2	-	1.5	0.0	0.0	0.0
Pérdidas en unidad de tratamiento (mm _{H2O})	h _{4SCE MP TI} -	-	-	97.1 (h _{ISC})	-	-	-	-
Pérdida total (mm _{H2O})	h _{t SCE MP I} 36.8	30.2	4.9	97.1	9.4	6.8	6.8	19.9
Pérdida acumulada (mm _{H2O})	ha _{SCE MP}	41.7	41.7	138.8	148.3	155.0 (h _{Eev MP})	26.7 (h _{ESv MP})	19.9

Tabla Anexo 5: Cálculo de la pérdida de presión en los diferentes tramos del SCE_{COV} propuesto para *Encuerado* y vinculado a las emisiones de la etapa de terminación. Las flechas indican el método de acumulación para obtener la pérdida de presión hac_{SCE COV}. Verde: valores usados para calcular la potencia mecánica del ventilador.

Tramo	1-A	2-A	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
Descripción del tramo	Ramal, de cabina pintura a nodo A	Ramal, de campana FO a nodo A	Troncal, de nodo A a ventilador	Sección de ingreso del ventilador	Troncal, de ventilador a incinerador	Incinerador térmico IT	Troncal, de incinerador a descarga final
Caudal circulando (m³/s)	0.77 (Q _{ac} cov)	1.58 (Q _{afo} cov)	2.35 (Q _{av} cov)	2.35 (Q _{av} cov)	2.35 (Q _{av} cov)	2.35 (Q _{in} IT)	6.20 (Q _s IT)
Diámetro adoptado (m)	0.31	0.45	0.55	0.55	0.55	-	0.72
Vel. de transporte (m/s)	10.2	10.0	9.9	9.9	9.9	4.6 (V _{IT})	15.2 (vs _{SCE cov})
Longitud estimada (m)	7.80	7.20	6.00	-	0.5	-	5.40
Pérdidas en tramos rectos p/fricción (mm _{H2O})	3.2	1.8	1.1	-	0.1	-	1.7
Coef. de accesorios	0.54	0.63	0.69	0.50	0.30	-	0.30
Altura dinámica (mm _{H2O})	6.36	6.07	6.01	6.01 (h _{Dsv} cov)	6.01	1.27	14.18
Pérdidas localizadas p/accesorios (mm _{H2O})	3.4	3.8	4.1	3.0	1.8	-	4.3
Coef. por entrada de aire	0.25	0.25	-	-	-	-	-
Pérdidas en ramal p/ingreso de aire (mm _{H2O})	8.0	7.6	-	-	-	-	-
Altura dinámica disponible en troncal (mm _{H2O})	-	-	6.17	6.01	6.01	-	1.27
Pérdidas en troncal p/aceleración (mm _{H2O})	-	-	0.0	0.0	0.0	-	12.9
Pérdidas en unidad de tratamiento (mm _{H2O})	5.6 (prefiltro)	-	-	-	-	134.4 (h _{IT})	-
Pérdida total (mm _{H2O})	20.2	13.2	5.3	3.0	1.9	134.4	18.8
Pérdida acumulada (mm _{H2O})			25.4	28.5 (h _{Eev} cov)	158.1 (h _{EsV} cov)		

Anexo VI: Etapa I de sondeo simple

Tabla Anexo 6: Planilla de cálculos para la aplicación del modelo de dispersión atmosférica Etapa I (sondeo simple), de acuerdo a lo indicado en el Decreto N° 1074/18 del OPDS. Compuestos modelados: MP10, metanol, metiletilcetona (MEK), tolueno y xileno.

Compuesto		MP10	Xileno	Metanol	MEK	Tolueno
Caudal másico de emisión (mg/s)	Q	13.9	242.3 (*)	242.3 (*)	242.3 (*)	242.3 (*)
Altura de chimenea (m)	Hs	9.00 (H _{sMP})	9.00 (H _{sCOV})			
Temperatura del gas en la chimenea (°K)	Ts	293 (T _{gasc})	761 (T _{sIT})			
Temperatura del aire ambiente (°K)	Ta	291 (**)	291 (**)			
Diámetro de chimenea (m)	Ds	0.31 (D _{SCE MP E-F})	0.72 (D _{SCE VOC E-F})			
Velocidad de salida de los gases (m/s)	Vs	14.9 (v _{TMP E-F})	15.2 (v _{TVOC E-F})			
1er paso						
Velocidad de viento 1 (m/s)	u1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Velocidad de viento 2 (m/s)	u2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Velocidad de viento 3 (m/s)	u3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Velocidad de viento 4 (m/s)	u4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Velocidad de viento 5 (m/s)	u5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Empuje térmico (m ⁴ /s ³)	Fb	0.024	11.942	11.942	11.942	11.942
Elevación normalizada de pluma de contaminantes (m ² /s)	uDh	1.303	137.477	137.477	137.477	137.477
2do paso						
Elevación de pluma de contaminantes 1 (m)	Dh1	1.303	137.477	137.477	137.477	137.477
Elevación de pluma de contaminantes 2 (m)	Dh2	0.652	68.738	68.738	68.738	68.738
Elevación de pluma de contaminantes 3 (m)	Dh3	0.434	45.826	45.826	45.826	45.826
Elevación de pluma de contaminantes 4 (m)	Dh4	0.261	27.495	27.495	27.495	27.495
Elevación de pluma de contaminantes 5 (m)	Dh5	0.130	13.748	13.748	13.748	13.748
3er paso						
Altura efectiva de la emisión 1 (m)	he1	10.30	146.48	146.48	146.48	146.48
Altura efectiva de la emisión 2 (m)	he2	9.65	77.74	77.74	77.74	77.74
Altura efectiva de la emisión 3 (m)	he3	9.43	54.83	54.83	54.83	54.83
Altura efectiva de la emisión 4 (m)	he4	9.26	36.50	36.50	36.50	36.50
Altura efectiva de la emisión 5 (m)	he5	9.13	22.75	22.75	22.75	22.75
4to paso						
C*u1/Q (1/m ²)		1.25E-03	2.34E-05	2.34E-05	2.34E-05	2.34E-05
C*u2/Q (1/m ²)		1.38E-03	6.04E-05	6.04E-05	6.04E-05	6.04E-05
C*u3/Q (1/m ²)		1.43E-03	1.02E-04	1.02E-04	1.02E-04	1.02E-04
C*u4/Q (1/m ²)		1.47E-03	1.88E-04	1.88E-04	1.88E-04	1.88E-04
C*u5/Q (1/m ²)		1.50E-03	3.82E-04	3.82E-04	3.82E-04	3.82E-04
5to paso						
C/Q 1 (s/m ³)		1.25E-03	2.34E-05	2.34E-05	2.34E-05	2.34E-05
C/Q 2 (s/m ³)		6.90E-04	3.02E-05	3.02E-05	3.02E-05	3.02E-05

Compuesto		MP10		Xileno	Metanol	MEK	Tolueno
C/Q 3 (s/m ³)		4.76E-04		3.40E-05	3.40E-05	3.40E-05	3.40E-05
C/Q 4 (s/m ³)		2.94E-04		3.76E-05	3.76E-05	3.76E-05	3.76E-05
C/Q 5 (s/m ³)		1.50E-04		3.82E-05	3.82E-05	3.82E-05	3.82E-05
C/Q máximo (s/m ³)		1.25E-03		3.82E-05	3.82E-05	3.82E-05	3.82E-05
6to paso							
Concentración media horaria a nivel del suelo (mg/Sm ³)	C1h	0.035		0.018	0.018	0.018	0.018
7mo paso							
Valor límite normado (mg/Sm ³)	Clim	0.150	0.050	5.200	3.100	0.390	1.400
Tiempo promedio del valor normado		24 h	1 año	8 h	8 h	24 h	8 h
Factor de corrección	Fc	0.4	0.08	0.7	0.7	0.4	0.7
Concentración media horaria a nivel del suelo, adaptada con Fc (mg/Sm ³)	Cp	0.014	0.003	0.013	0.013	0.007	0.013
8vo paso							
Cp/0.3		0.047	0.009	0.043	0.043	0.025	0.043
9no paso							
Concentración de fondo (mg/Sm ³)	Cb	- (***)		- (***)	- (***)	- (***)	- (***)
Concentración total estimada	Cmáx	0.047	0.009	0.043	0.043	0.025	0.043
Verificación							
¿Se verifica Cmáx < Clim?		Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

(*) Se consideró situación límite, en la que el total de los COVs liberados se conforma exclusivamente por el contaminante evaluado.

(**) Se adoptó una temperatura media ambiente de 18°C (291°K). Valor obtenido de referencia [55].

(***) No fue posible hallar una concentración de fondo válida para los contaminantes evaluados, dentro del área de influencia considerada (partido de Lanús). Por este motivo, se adopta Cmáx = Cp/0.3.

Anexo VII: Capital de inversión y operación - Planilla de cálculos

Las tablas siguientes presentan el conjunto de elementos considerados en la estimación de costos de inversión y operación, vinculados a la construcción y manejo del sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada diseñados en el presente PFI.

Tabla Anexo 7: Costos de inversión - Adquisición de equipamiento electromecánico.

Descripción	Cantidad	Costo unidad (USD) (*)	Costo total (USD)
Bomba Grundfos SEG.40.09.2.1.502	4	USD 1,571.8	USD 6,287.2
Bomba Grundfos SLV.65.65.09.2.50B	4	USD 1,577.8	USD 6,311.3
Bomba Grundfos SL1.50.65.11.2.50B	1	USD 3,663.7	USD 3,663.7
Bomba Grundfos UP 20-45 N 150	1	USD 441.5	USD 441.5
Bomba EDDY Pump HD1K	5	USD 1,974.2	USD 9,871.1
Estación prefabricada de bombeo	2	USD 1,815.0	USD 3,630.0
Soplador Repicky R200	2	USD 5,721.6	USD 11,443.1
Soplador Repicky R500	9	USD 5,843.2	USD 52,589.0
Tamiz rotativo Defender TR 40/25	1	USD 6,290.7	USD 6,290.7
Skimmer Smart Storm Greasebuster	1	USD 375.1	USD 375.1
Agitador mecánico	5	USD 217.8	USD 1,089.0
Motorreductor 0.09 kW	5	USD 213.9	USD 1,069.3
Rascador mecánico de cadena	1	USD 3,025.0	USD 3,025.0
Barredor superficial	2	USD 3,025.0	USD 6,050.0
Filtro prensa DIEMME KE 500	3	USD 1,452.0	USD 4,356.0
Compresor Branx BRXC-2525	1	USD 184.0	USD 184.0
Ventilador centrífugo Casals MTRM 500	1	USD 4,687.2	USD 4,687.2
Ventilador centrífugo Casals MTRM 710	1	USD 6,561.5	USD 6,561.5
Incinerador térmico comercial	1	USD 100,000.0	USD 100,000.0
Total			USD 227,924.7

(*) Las fuentes y proveedores consultados para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes y proveedores consultados:

- <https://www.alibaba.com/>
- <https://www.aquamarket.com/index.asp>
- <https://www.tradepumps.com/>
- <https://www.mercadolibre.com.ar/>
- <https://www.pumpa.eu/en/>
- <https://www.casals.com/es/>
- https://www.profluid.de/en_US/
- <https://suministrossercoin.com/>

Tabla Anexo 8: Costos de inversión - Adquisición de equipamiento especial, complementario a los muros estructurales de las unidades de tratamiento. Se mencionan placas perforadas para el ingreso del efluente, pantallas deflectoras, difusores de burbuja gruesa y fina, entre otros (ver planos de las unidades de tratamiento presentados en el **Anexo IX**).

Descripción	Material	Cantidad		Costo unitario (*)		Costo total (USD)	
Línea de curtido y recurtido							
RG - Barras 10 mm para rejas gruesas	Acero inoxidable	8.00	m	13.4	USD/m	USD	107.5
RF - Rejas 5 mm para rejas finas	Acero inoxidable	19.00	m	3.4	USD/m	USD	64.1
v - Vertedero de pared delgada	Chapa galvanizada	0.81	m ²	13.2	USD/m ²	USD	10.7
EC - Difusores de burbuja gruesa	EPDM/Acrilo nitrilo	60	unidades	21.8	USD/unidad	USD	1,306.8
CF - Pantallas de control de flujo	Chapa galvanizada	1.98	m ²	13.2	USD/m ²	USD	26.0
TMR - Tanque de 750 l para mezcla rápida	Tanque comercial	1	unidades	144.7	USD/unidad	USD	144.7
TMR - Deflectores anti vórtice	Chapa galvanizada	0.45	m ²	13.2	USD/m ²	USD	5.9
S1 - Placa perforada de ingreso	Chapa galvanizada	5.28	m ²	13.2	USD/m ²	USD	69.4
S1 - Pantalla defelctora	Chapa galvanizada	8.32	m ²	13.2	USD/m ²	USD	109.4
S1 - Vertederos thompson	Chapa galvanizada	0.48	m ²	13.2	USD/m ²	USD	6.3
Línea de terminación							
cto - Canasto de desbaste	Acero inoxidable	1	unidades	18.0	USD/unidad	USD	18.0
ET - Difusores de burbuja gruesa	EPDM/Acrilo nitrilo	10	unidades	21.8	USD/unidad	USD	217.8
ME - Mezclador estático para coagulación	Mezclador comercial	1	unidades	61.5	USD/unidad	USD	61.5
TF - Tanque de 525 l para floculación	Tanque comercial	1	unidades	112.2	USD/unidad	USD	112.2
DAF - Difusor cámara de flotación	Acero al carbono	1	unidades	350.0	USD/unidad	USD	350.0
DAF - Pantalla defelctora	Chapa galvanizada	5.03	m ²	13.2	USD/m ²	USD	66.1
DAF - Vertederos thompson	Chapa galvanizada	0.75	m ²	13.2	USD/m ²	USD	9.9
DAF - Tanque de presurización de 24 l	Tanque comercial	1	unidades	32.0	USD/unidad	USD	32.0
DAF - Cámara de partición de 200 l	Tanque comercial	1	unidades	20.0	USD/unidad	USD	20.0
Línea de tratamiento secundario							
cto - Canasto de desbaste	Acero inoxidable	1	unidades	18.0	USD/unidad	USD	18.0
CP - Cámara de partición de 8000 l	Tanque comercial	1	unidades	1704.7	USD/unidad	USD	1,704.7
LA - Difusores de burbuja fina	EPDM/Acrilo nitrilo	77	unidades	29.0	USD/unidad	USD	2,236.1
S2 - Placa perforada de ingreso	Chapa galvanizada	0.39	m ²	13.2	USD/m ²	USD	5.2
S2 - Cilindro deflector	Chapa galvanizada	6.41	m ²	13.2	USD/m ²	USD	84.3
S2 - Pantalla defelctora	Chapa galvanizada	8.80	m ²	13.2	USD/m ²	USD	115.7
S2 - Vertederos thompson	Chapa galvanizada	3.96	m ²	13.2	USD/m ²	USD	52.1
CAM - Vertedero de pared delgada	Chapa galvanizada	0.57	m ²	13.2	USD/m ²	USD	7.5
Tratamiento de lodos primarios con cromo							
ECr - Placa perforada de ingreso	Chapa galvanizada	0.31	m ²	13.2	USD/m ²	USD	4.1
ECr - Cilindro deflector	Chapa galvanizada	5.34	m ²	13.2	USD/m ²	USD	70.2
ECr - Pantalla defelctora	Chapa galvanizada	3.74	m ²	13.2	USD/m ²	USD	49.2
ECr - Vertederos thompson	Chapa galvanizada	1.79	m ²	13.2	USD/m ²	USD	23.6
Tratamiento de lodos mixtos sin cromo							
EM - Placa perforada de ingreso	Chapa galvanizada	0.31	m ²	13.2	USD/m ²	USD	4.1
EM - Cilindro deflector	Chapa galvanizada	5.34	m ²	13.2	USD/m ²	USD	70.2
EM - Pantalla defelctora	Chapa galvanizada	5.72	m ²	13.2	USD/m ²	USD	75.2
EM - Vertederos thompson	Chapa galvanizada	2.64	m ²	13.2	USD/m ²	USD	34.7
DA - Difusores de burbuja gruesa	EPDM/Acrilo nitrilo	36	unidades	21.8	USD/unidad	USD	784.1
Sistema de ventilación localizada							
SC - Separador ciclónico	Ciclón comercial	1	unidades	1150.0	USD/unidad	USD	1,150.0
Total						USD	9,227.3

(*) Las fuentes consultadas para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes consultadas:

- <https://www.alibaba.com/>
- <https://www.serranoaceros.com.ar/>
- <https://www.mercadolibre.com.ar/>

Tabla Anexo 9: Costos de inversión - Adquisición de hormigón y recubrimiento. Se consideró el costo asociado al volumen de hormigón armado requerido para el montaje de las unidades, y la cantidad de pintura epoxi requerida para recubrir e impermeabilizar sus paredes internas. Las dimensiones de las unidades se obtuvieron de los respectivos planos presentados en el **Anexo IX**.

Descripción	Hormigón armado (USD) (*)	Pintura epoxi (USD) (*)	Costo total (USD)
Línea de curtido y recurtido			
R - Canal para rejillas de desbaste	USD 176.0	USD 66.0	USD 242.0
v - Canal para vertedero de pared delgada	USD 334.4	USD 125.4	USD 459.8
EC - Tanque ecualizador	USD 44,217.6	USD 5,527.2	USD 49,744.8
CF - Cámara de flotación simple	USD 528.8	USD 198.3	USD 727.1
TML - Tanque de mezcla lenta	USD 1,398.4	USD 262.2	USD 1,660.6
S1 - Cámara de transición	USD 2,176.0	USD 462.0	USD 2,638.0
S1 - Sedimentador primario	USD 5,728.0	USD 1,074.0	USD 6,802.0
Línea de terminación			
v - Canal para vertedero de pared delgada	USD 296.0	USD 2,960.0	USD 3,256.0
ET - Tanque ecualizador	USD 8,640.0	USD 1,620.0	USD 10,260.0
DAF - Cámara de flotación y cámara de partición	USD 523.5	USD 196.3	USD 719.8
Línea de tratamiento secundario			
CP - Cámara de partición comercial	USD -	USD 299.7	USD 299.7
LA - Reactor de lodos activados	USD 31,245.6	USD 3,905.7	USD 35,151.3
CA - Cámara anóxica	USD 12,312.0	USD 1,539.0	USD 13,851.0
S2 - Sedimentador secundario	USD 7,176.0	USD 1,345.5	USD 8,521.5
CAM - Cámara de aforo y toma de muestras	USD 166.8	USD 62.6	USD 229.4
Tratamiento de lodos			
ECr - Espesador de lodos con cromo	USD 2,875.8	USD 539.2	USD 3,415.0
EM - Espesador de lodos mixtos sin cromo	USD 4,584.2	USD 859.5	USD 5,443.8
DA - Digestor aeróbico	USD 13,809.6	USD 1,726.2	USD 15,535.8
Total	USD 136,188.7	USD 22,768.8	USD 158,957.5

(*) Se contempló un costo por m³ de hormigón armado de 400 USD (espesor de muros entre 10 y 30 cm), y un costo por m² de recubrimiento epoxi de 15 USD (rendimiento: 0,5 kg/m²). Las fuentes y proveedores consultados para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes y proveedores consultados:

- <https://www.alibaba.com/>
- <https://argentina.generadordeprecios.info/>
- <https://empresa-constructora.csantiago.com.ar/>
- <https://www.serranoaceros.com.ar/>
- <https://grupomitre.com.ar/>

Tabla Anexo 10: Costos de inversión - Tareas de movimiento de suelos. Se consideró el costo asociado al volumen de tierra que debe excavarse (en caso de que la unidad se encuentre enterrada), así como también el transporte de dichas tierras en volquetes de 7 m³ y su entrega a vertedero habilitado. Los volúmenes de excavación se obtuvieron de los respectivos planos en el **Anexo IX**.

Descripción	Volumen tierra excavada (m3)	Descomposición de costos (USD) (*)		
		Excavación	Gestión de tierras (**)	Costo total
Línea de curtido y recurtido				
R - Canal para rejas de desbaste	0.7	USD 13.5	USD 7.9	USD 22.0
v - Canal para vertedero de pared delgada	2.2	USD 45.2	USD 26.3	USD 73.7
EB1 - Estación de bombeo	2.5	USD 52.0	USD 30.3	USD 84.8
EC - Tanque equalizador	166.4	USD 3,454.9	USD 2,013.1	USD 5,634.4
S1 - Sedimentador primario	12.9	USD 267.8	USD 156.0	USD 436.7
Línea de terminación				
v - Canal para vertedero de pared delgada	1.8	USD 37.4	USD 21.8	USD 60.9
EB2 - Estación de bombeo	2.4	USD 49.3	USD 28.7	USD 80.4
ET - Tanque equalizador	32.6	USD 677.5	USD 394.8	USD 1,105.0
DAF - Cámara de flotación	1.3	USD 27.4	USD 16.0	USD 44.7
Línea de tratamiento secundario				
CP - Cámara de partición comercial	6.8	USD 140.9	USD 82.1	USD 229.7
LA - Reactor de lodos activados	100.0	USD 2,075.6	USD 1,209.4	USD 3,384.9
CA - Cámara anóxica	21.7	USD 449.6	USD 262.0	USD 733.2
S2 - Sedimentador secundario	26.0	USD 540.2	USD 314.8	USD 881.0
Tratamiento de lodos				
ECr - Espesador de lodos con cromo	6.2	USD 129.4	USD 75.4	USD 211.0
EM - Espesador de lodos mixtos sin cromo	12.1	USD 250.4	USD 145.9	USD 408.4
DA - Digestor aeróbico	32.9	USD 683.8	USD 398.4	USD 1,115.1
Total	381.5	USD 7,918.6	USD 4,613.8	USD 12,913.9

(*) Se contempló un costo de 20.8 USD por m³ de excavación mecánica, y un costo de 65.1 USD por m³ de tierra transportada a disposición final. Las fuentes y proveedores consultados para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

(**) Se consideró un factor de esponjamiento de 1.3 para la tierra excavada.

Fuentes y proveedores consultados:

- <https://www.alibaba.com/>
- <https://argentina.generadordeprecios.info/>
- <https://www.mercadolibre.com.ar/>
- <https://empresa-constructora.csantiago.com.ar/>
- <https://www.serranoaceros.com.ar/>
- <https://grupomitre.com.ar/>

Tabla Anexo 11: Costos de inversión - Tareas preliminares.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Conjunto de sistemas de seguridad e higiene	Global	1	USD 2,298.2	USD 2,298.2
Técnico SeH permanente en obra	Mes	12	USD 796.0	USD 9,552.2
Sereno permanente en obra	Mes	12	USD 796.0	USD 9,552.2
Seguros generales	Global	1	USD 895.5	USD 895.5
Documentación y trámite	Global	1	USD 2,821.7	USD 2,821.7
Andamios multidireccionales y plataformas para trabajos en altura	Mes	12	USD 360.8	USD 4,329.0
Instalación de obrador, comedor, vestuario y oficinas	Mes	12	USD 1,094.5	USD 13,134.3
Total				USD 42,583.2

(*) Las fuentes y proveedores consultados para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes consultadas:

- <https://argentina.generadordeprecios.info/>
- <https://www.serranoaceros.com.ar/>

Tabla Anexo 12: Costos de inversión - Adquisición de conducciones, incluyendo conductos de PVC asociados al sistema de tratamiento de efluentes líquidos, y ductos de ventilación de chapa galvanizada asociados al sistema de ventilación localizada. Las dimensiones de las conducciones, se obtuvieron de los respectivos planos presentados en el **Anexo IX**.

Descripción	Cantidad (m)	Costo por metro (USD/m)	Costo total (USD)
Conducto de ventilación de chapa galvanizada - 220 mm	14.3	USD/m 1.00	USD 14.3
Conducto de ventilación de chapa galvanizada - 310 mm	17.1	USD/m 1.99	USD 33.9
Conducto de ventilación de chapa galvanizada - 450 mm	7.2	USD/m 4.18	USD 30.1
Conducto de ventilación de chapa galvanizada - 550 mm	6.5	USD/m 6.25	USD 40.6
Conducto de ventilación de chapa galvanizada - 720 mm	5.4	USD/m 10.71	USD 57.9
Conducto de PVC - 1 1/4"	7.5	USD/m 3.45	USD 25.8
Conducto de PVC - 1 1/2"	25.0	USD/m 4.11	USD 102.7
Conducto de PVC - 2"	255.0	USD/m 4.78	USD 1,218.9
Conducto de PVC - 2 1/2"	42	USD/m 5.48	USD 230.1
Conducto de PVC - 3"	8	USD/m 7.43	USD 59.4
Conducto de PVC - 4"	67.4	USD/m 8.59	USD 579.2
Total			USD 2,392.9

(*) Las fuentes y proveedores consultados para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes consultadas:

- <https://argentina.generadordeprecios.info/>
- <https://grupomitre.com.ar/>

Tabla Anexo 13: Costos de operación - Consumo eléctrico del equipamiento instalado. Cálculos realizados en base a las potencias reportadas por los fabricantes de cada equipo electromecánico considerado, y en base al cuadro tarifario de Edesur (grandes demandas, en horario pico, con potencia contratada media, vigente a partir del 01/01/2025) [23].

Descripción	Cantidad	Potencia (kW) (**)	Uso (h/mes)	Consumo (kWh/mes)	Costo (USD/mes) (*)
Cargo fijo	-	-	-	-	USD 98,6
Cargo por potencia contratada (200 kW)	-	-	-	-	USD 589,1
Cargo por potencia adquirida (200 kW)	-	-	-	-	USD 476,5
Línea de curtido y recurtido					
EB1 - Bomba Grundfos SL1.50.65.11.2.50B	1	1.60	720	1152	USD 71.8
EC - Bomba Grundfos SEG.40.09.2.1.502	2	1.15	720	828	USD 103.2
EC - Soplador Repicky R500	3	4.30	720	3094	USD 578.2
TZ - Tamiz rotativo Defender TR 40/25	1	0.25	720	180	USD 11.2
CF - Skimmer Smart Storm Greasebuster	1	0.18	720	130	USD 8.1
TMR - Agitador mecánico de flujo radial con motorreductor	1	0.27	720	194	USD 12.1
TML - Agitador mecánico de flujo axial con motorreductor	1	0.27	720	194	USD 12.1
S1 - Rascador mecánico de cadena	1	0.37	720	266	USD 16.6
S1 - Bomba EDDY Pump HD1K	1	1.50	720	1080	USD 67.3
Línea de terminación					
EB2 - Bomba Grundfos SLV.65.65.09.2.50B	1	1.40	720	1008	USD 62.8
ET - Bomba Grundfos SLV.65.65.09.2.50B	2	1.40	720	1008	USD 125.6
ET - Soplador Repicky R200	2	1.43	720	1027	USD 128.0
TF - Agitador mecánico de flujo axial con motorreductor	1	0.27	720	194	USD 12.1
DAF - Barredor superficial	1	0.37	720	266	USD 16.6
DAF - Bomba EDDY Pump HD1K	1	1.50	720	1080	USD 67.3
DAF - Bomba Grundfos UP 20-45 N 150	1	0.12	720	86	USD 5.4
DAF - Compresor Branx BRXC-2525	1	1.49	720	1074	USD 66.9
Línea de tratamiento secundario					
CP - Bomba Grundfos SEG.40.09.2.1.502	2	1.15	720	828	USD 103.2
CP - Agitador mecánico con motorreductor	1	0.46	720	331	USD 20.6
LA - Soplador Repicky R500	3	4.83	720	3480	USD 650.3
LA - Bomba de recirculación Grundfos SLV.65.65.09.2.50B	1	1.40	720	1008	USD 62.8
CA - Agitador mecánico con motorreductor	1	0.94	720	679	USD 42.3
S2 - Barredor superficial	1	0.37	720	266	USD 16.6
S2 - Bomba EDDY Pump HD1K	1	1.50	720	1080	USD 67.3
Tratamiento de lodos primarios con cromo					
ECr - Bomba EDDY Pump HD1K	1	1.50	720	1080	USD 67,3
FCr - Filtro prensa DIEMME KE 500	1	4,00	720	2880	USD 179,4
Tratamiento de lodos mixtos sin cromo					
EM - Bomba EDDY Pump HD1K	1	1.50	720	1080	USD 67.3
DA - Soplador Repicky R500	3	4.57	720	3290	USD 614.9
FM - Filtro prensa DIEMME KE 500	1	4.00	720	2880	USD 179.4
Sistema de ventilación localizada					
SCEMP - Ventilador centrífugo Casals MTRM 500	1	4,00	160	640	USD 39,9
SCECOV - Ventilador centrífugo Casals MTRM 710	1	7,50	160	1200	USD 74,8
Total					USD 4,715.3

(*) Se consideró un costo por kWh de 0.062 USD, aplicable a horario pico (8:00 a 17:00).

(**) Las fuentes consultadas para obtener las potencias presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes consultadas:

- <https://www.edesur.com.ar/tarifas-cuadro-tarifario/>
- <https://www.grundfos.com/ar>
- <https://www.casals.com/es/fanware>
- <https://www.agitadoresfluidmix.com/>
- <https://www.directindustry.es/>

Tabla Anexo 14: Costos de operación - Consumo de gas del equipamiento instalado. Cálculos realizados en base al requerimiento de combustible calculado para el incinerador térmico (IT), y en base al cuadro tarifario de Metrogas (grandes usuarios abastecidos con gas natural, categoría SGP2, radicados en la provincia de Buenos Aires, vigente a partir del 01/01/2025) [57].

Descripción	Demanda (Sm ³ /h) (*)	Uso (h/mes)	Costo Sm ³ (USD) (*)	Costo (USD/mes)
Cargo fijo GN	-	-	-	USD 11.3
IT - Gas natural requerido para la combustión	153	160	USD/Sm ³ 0.16	USD 3,834.6
Total				USD 3,845.9

(*) Caudales reportados en condiciones estándares de temperatura y presión (CSPT) (25°C y 1 atmósfera).

Tabla Anexo 15: Costos de operación - Consumo de reactivos. Cálculos realizados en base al requerimiento obtenido para las operaciones de precipitación de cromo (línea de curtido y recurtido) y de coagulación y floculación (línea de terminación).

Descripción	Dosis (kg/mes)	Costo kg (USD/kg) (*)	Costo (USD/mes)
TMR - Hidróxido de calcio (calidad construcción)	51239	USD/kg 0.17	USD 8,810.6
ME - Sulfato de aluminio (17% m/m)	78	USD/kg 0.13	USD 59.6
TF - Policloruro de aluminio (30% m/m)	93	USD/kg 1.99	USD 616.9
Total			USD 9,487.2

(*) Las fuentes consultadas para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes consultadas:

- <https://www.alibaba.com/>
- <https://gaffamateriales.com/>

Tabla Anexo 16: Costos de operación - Mano de obra considerada para la operación normal del sistema de tratamiento de efluentes líquidos y de ventilación localizada. Cálculos realizados en base a la oferta salarial hallada en el buscador de empleo *Glassdoor* [28].

Descripción	Cantidad	Salario (USD)	Costo (USD/mes)
Ingeniero ambiental	2	USD 1,619.4	USD 3,238.9
Técnico operativo	5	USD 971.7	USD 4,858.3
Licenciado en Seguridad e higiene	1	USD 1,214.6	USD 1,214.6
Total			USD 9,311.7

Tabla Anexo 17: Costos de operación - Gestión de los barros generados, distinguiendo entre aquellos conteniendo cromo (residuo especial, clase Y18) y los lodos mixtos estabilizados. Se consideró el costo asociado a la adquisición de tambores de 200 litros para la contención y diferenciación de las corrientes de lodo (cromados y mixtos); el transporte de los tambores acopiados; y la entrega a un gestor autorizado de residuos peligrosos (Rs. N° 578).

Descripción	Estación	Volumen de barros (m³/mes)	Costo de gestión por m3 (USD/m³) (*)	Costo total (USD)
FCr - Gestión de lodos deshidratados con cromo	Verano / invierno	10.52	USD/m³ 593.9	USD 6,249.7
FM - Gestión de lodos mixtos estabilizados y deshidratados	Verano	12.23	USD/m³ 299.9	USD 3,668.4
	Invierno	12.66	USD/m³ 299.1	USD 3,786.7
Total verano				USD 9,918.1
Total invierno				USD 10,036.5

(*) Las fuentes y proveedores consultados para obtener las cotizaciones presentadas, se listan debajo de la tabla.

Fuentes y proveedores consultados:

- <https://argentina.generadordeprecios.info/>
- <https://www.alibaba.com/>
- <https://retiroselsol.com.ar/index.html>
- <https://www.marinosa.com.ar/>

Anexo VIII: Cálculo de matriz de impactos ambientales

Las siguientes tablas presentan los valores de Intensidad (I), Extensión (E), Duración (D) y Probabilidad (P), asignados a los diferentes impactos identificados en la sección Evaluación de Impacto Ambiental, para las etapas de construcción y operación de los sistemas de tratamiento de efluentes líquidos y ventilación localizada propuestos para *Encuerado*.

Tabla Anexo 18: Valores de Intensidad utilizados en la construcción de la matriz de impactos ambientales del EsIA (ver Tabla 82).

Ref.: Clasificación de intensidad		Factores ambientales							
		Aire		Agua		Suelo		Socio-económico	
Valor de I	Intensidad	Calidad del aire	Ruido y vibraciones	Calidad del agua subterránea	Calidad del agua superficial	Calidad del suelo	Escurrimiento e infiltración	Oferta de empleo	Salud
1	Baja								
2	Media								
3	Alta								
+	Beneficioso								
-	Perjudicial								

Acciones del proyecto		Factores ambientales							
		Aire		Agua		Suelo		Socio-económico	
		Calidad del aire	Ruido y vibraciones	Calidad del agua subterránea	Calidad del agua superficial	Calidad del suelo	Escurrimiento e infiltración	Oferta de empleo	Salud
Construcción	Instalación del obrador	-1	-2		-1		-1	3	
	Preparación del terreno	-2	-2		-1	-2	-2	3	
	Movimientos de suelo y demoliciones	-3	-3		-1	-3	-3	3	
	Construcción y montaje de unidades	-2	-3		-1	-3	-3	3	
	Instalación de conducciones y equipo electromecánico	-1	-2		-1	-1		3	
Operación	Pruebas hidráulicas y puesta a punto	-1	-2	-2				1	
	Operación normal de los sistemas	3	-2	2	3			1	2
	Gestión de barro	-1	-2	2	3			1	2
	Contingencias	-2		-3	-3	-3	-3		

Tabla Anexo 19: Valores de Duración utilizados en la construcción de la matriz de impactos ambientales del EsIA (ver Tabla 82).

Ref.: Clasificación de Duración		Factores ambientales							
		Aire		Agua		Suelo		Socio-económico	
Valor de D	Duración	Calidad del aire	Ruido y vibraciones	Calidad del agua subterránea	Calidad del agua superficial	Calidad del suelo	Escurrimiento e infiltración	Oferta de empleo	Salud
1	Fugaz								
2	Temporal								
3	Permanente								
+	Beneficioso								
-	Perjudicial								

Acciones del proyecto	Construcción	Instalación del obrador	-1	-1		-1		-1	1	
		Preparación del terreno	-1	-1		-1	-3	-3	1	
		Movimientos de suelo y demoliciones	-2	-2		-2	-3	-3	2	
		Construcción y montaje de unidades	-2	-2		-2	-3	-3	2	
		Instalación de conducciones y equipo electromecánico	-1	-1		-1	-3		1	
	Operación	Pruebas hidráulicas y puesta a punto	-1	-1	-1				1	
		Operación normal de los sistemas	3	-3	3	3			3	3
		Gestión de barros	-3	-3	3	3			3	3
		Contingencias	-1		-1	-1	-2	-2		

Tabla Anexo 20: Valores de Extensión utilizados en la construcción de la matriz de impactos ambientales del EsIA (ver Tabla 82).

Ref.: Clasificación de Extensión		Factores ambientales							
		Aire		Agua		Suelo		Socio-económico	
Valor de E	Extensión	Calidad del aire	Ruido y vibraciones	Calidad del agua subterránea	Calidad del agua superficial	Calidad del suelo	Escurrimiento e infiltración	Oferta de empleo	Salud
1	Puntual								
2	Zonal								
3	Regional								
+	Beneficioso								
-	Perjudicial								

Acciones del proyecto	Construcción	Instalación del obrador	-1	-1		-1		-1	2	
		Preparación del terreno	-1	-1		-1	-1	-1	2	
		Movimientos de suelo y demoliciones	-1	-2		-2	-1	-1	2	
		Construcción y montaje de unidades	-1	-2		-2	-1	-1	2	
		Instalación de conducciones y equipo electromecánico	-1	-1		-1	-1		2	
	Operación	Pruebas hidráulicas y puesta a punto	-2	-1	-1				2	
		Operación normal de los sistemas	3	-1	1	2			2	3
		Gestión de barros	-2	-1	1	2			2	2
		Contingencias	-3		-1	-2	-1	-1		

Tabla Anexo 21: Valores de Probabilidad utilizados en la construcción de la matriz de impactos ambientales del EsIA (ver Tabla 82).

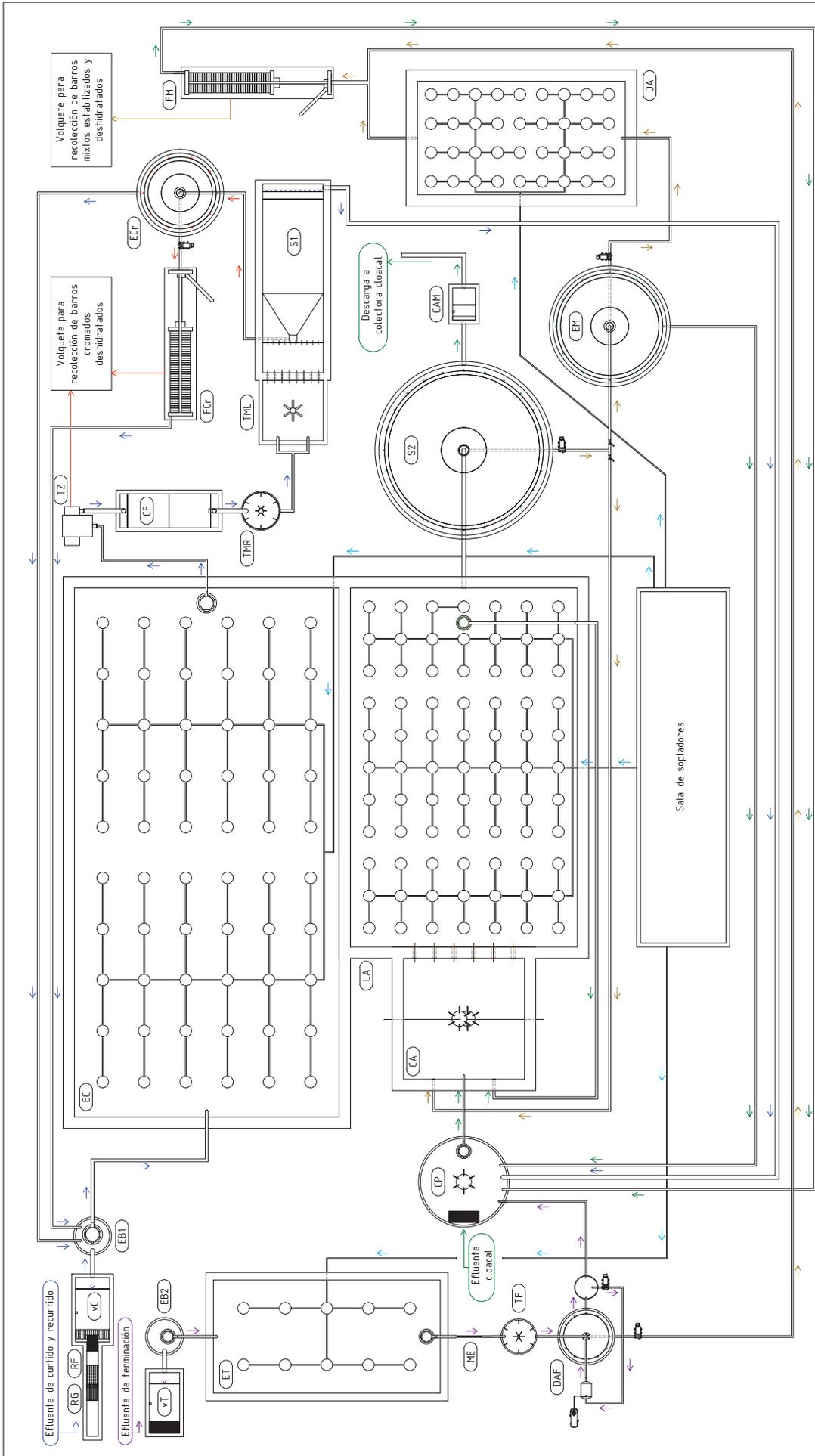
Ref.: Clasificación de Probabilidad		Factores ambientales							
		Aire		Agua		Suelo		Socio-económico	
Valor de P	Probabilidad	Calidad del aire	Ruido y vibraciones	Calidad del agua subterránea	Calidad del agua superficial	Calidad del suelo	Escorrentía e infiltración	Oferta de empleo	Salud
1	Baja								
2	Media								
3	Alta								
+	Beneficioso								
-	Perjudicial								

Acciones del proyecto	Construcción	Instalación del obrador	-1	-3		-1		-1	3	
		Preparación del terreno	-3	-3		-1	-3	-3	3	
		Movimientos de suelo y demoliciones	-3	-3		-1	-3	-3	3	
		Construcción y montaje de unidades	-3	-3		-1	-3	-3	3	
		Instalación de conducciones y equipo electromecánico	-2	-2		-1	-3		3	
	Operación	Pruebas hidráulicas y puesta a punto	-2	-2	-3				2	
		Operación normal de los sistemas	3	-3	3	3			2	3
		Gestión de barros	-2	-3	3	3			2	3
		Contingencias	-1		-1	-1	-1	-1		

Anexo IX: Planos

A continuación, se presentan los planos a nivel de ingeniería básica confeccionados para las unidades de tratamiento diseñadas en el presente Proyecto Final Integrador.

- Plano N°1: Vista en planta Sistema de tratamiento de efluentes líquidos.
- Plano N°2: Perfil hidráulico (01) - Sistema de tratamiento de efluentes líquidos.
- Plano N°3: Perfil hidráulico (02) - Sistema de tratamiento de efluentes líquidos.
- Plano N°4: Línea de curtido - Sistema de desbaste y vertedero.
- Plano N°5: Línea de curtido - Tanque ecualizador.
- Plano N°6: Línea de curtido - Cámara de flotación y tanque mezclado rápido.
- Plano N°7: Línea de curtido - Tanque de mezcla lenta.
- Plano N°8: Línea de curtido - Sedimentador primario.
- Plano N°9: Línea de terminación - Sistema de desbaste y vertedero.
- Plano N°10: Línea de terminación - Tanque ecualizador.
- Plano N°11: Línea de terminación - Tanque de floculación.
- Plano N°12: Línea de terminación - Sistema de flotación por aire disuelto.
- Plano N°13: Tratamiento secundario - Cámara de partición.
- Plano N°14: Tratamiento secundario - Cámara anóxica, reactor de lodos activados y sedimentador secundario.
- Plano N°15: Tratamiento de lodos cromados - Espesador.
- Plano N°16: Tratamiento de lodos mixtos - Espesador.
- Plano N°17: Tratamiento de lodos mixtos - Digestor aeróbico.



Referencias

- Unidades en centímetros
- RG: Rejas gruesas de desbaste
 - RF: Rejas finas de desbaste
 - VC: Vertedero de pared delgada - Curtido
 - EBT: Estación de bombeo - Curtido
 - EC: Tanque equalizador - Curtido
 - TZ: Tamiz rotativo
 - CF: Cámara de flotación simple
 - TMR: Reactor de cromo - Pieza rápida
 - TML: Reactor de cromo - Pieza lenta
 - SI: Sedimentador primario

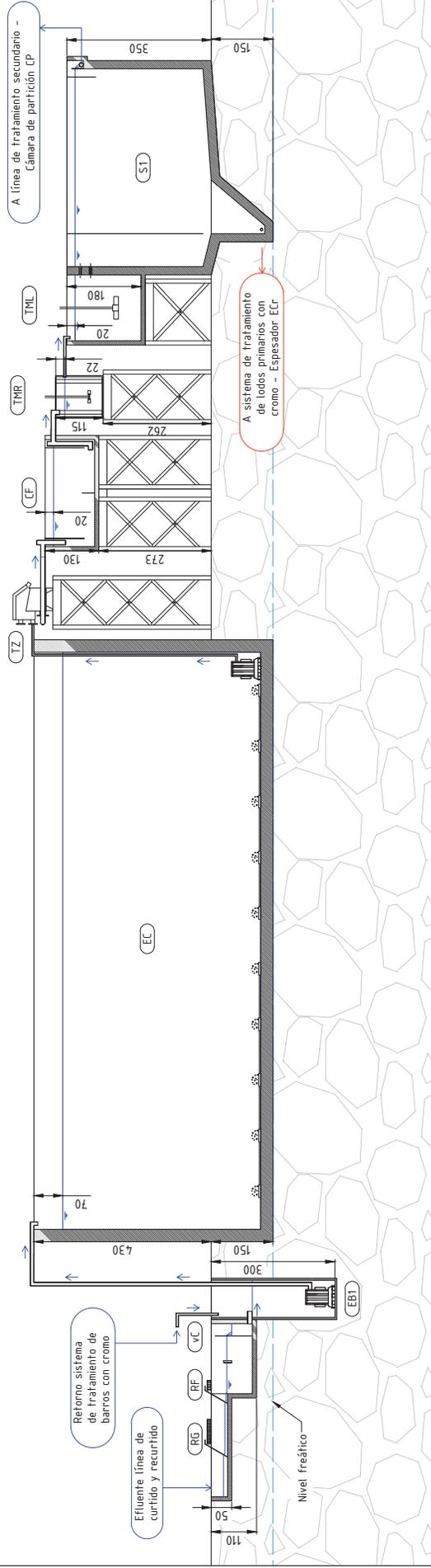
- Siglas:
- VT: Vertedero de pared delgada - Terminación
 - EB2: Estación de bombeo - Terminación
 - ET: Tanque equalizador - Terminación
 - ME: Mezclador estático
 - TF: Tanque de flotación por aire disuelto
 - DAF: Sistema de flotación por aire disuelto
 - CP: Cámara de partición
 - CA: Cámara anóxica
 - LA: Reactor de todos activados
 - S2: Sedimentador secundario

- Siglas (continuación)
- CAM: Cámara de aforo y toma de muestras
 - ECR: Espesador de lodos cromados
 - FC: Filtro prensa para lodos cromados
 - EM: Espesador de lodos mixtos
 - DA: Digestor aeróbico de lodos mixtos
 - FM: Filtro prensa para lodos mixtos

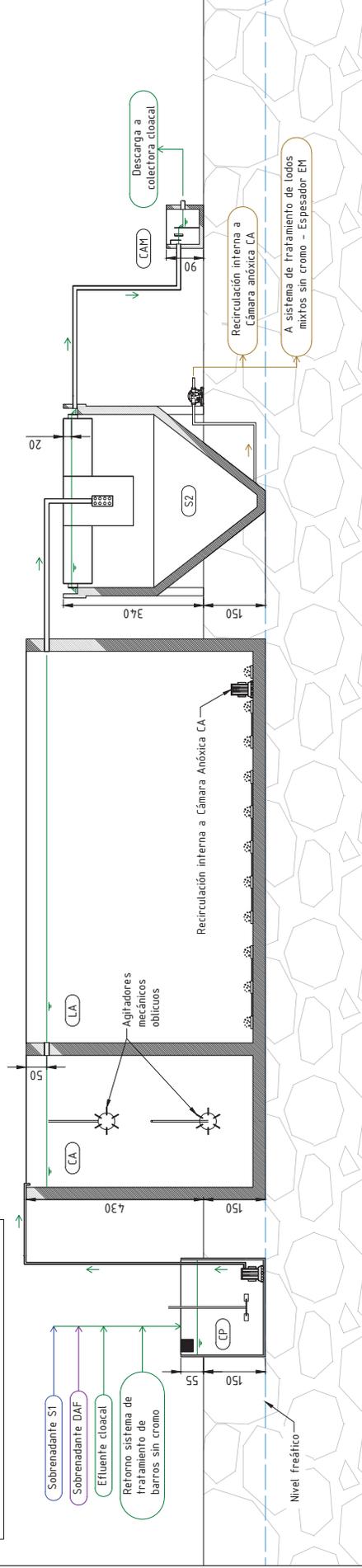
- Siglas (continuación)
- CAH: Cámara de aforo y toma de muestras
 - ECR: Espesador de lodos cromados
 - FC: Filtro prensa para lodos cromados
 - EM: Espesador de lodos mixtos
 - DA: Digestor aeróbico de lodos mixtos
 - FM: Filtro prensa para lodos mixtos

Revisó:	Fecha:	Nombre:	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Aprobó:			
Escala:			
Nº plano:	Vista en planta - Sistema de tratamiento de efluentes líquidos		
01			

Línea de curtido y recortido



Línea de tratamiento secundario



Referencias

Unidades en centímetros

- RG: Rejas gruesas de desbaste
- RF: Rejas finas de desbaste
- VC: Vertedero de pared delgada - Curtido
- EBI: Estación de bombeo - Curtido
- EC: Tanque equalizador - Curtido
- SI: Lodos cromados
- Manón: Lodos mixtos

- Siglas (continuación)
- TZ: Tamiz rotativo
 - CF: Cámara de flotación simple
 - TMR: Reactor de cromo - Mezcla rápida
 - TML: Reactor de cromo - Mezcla lenta
 - SI: Sedimentador primario

- Siglas (continuación)
- CP: Cámara de partición
 - CA: Cámara anóxica
 - LA: Reactor de lodos activados
 - SZ: Sedimentador secundario
 - CAM: Cámara de aforo y toma de muestras
 - ECR: Espesador de lodos cromados
 - EM: Espesador de lodos mixtos

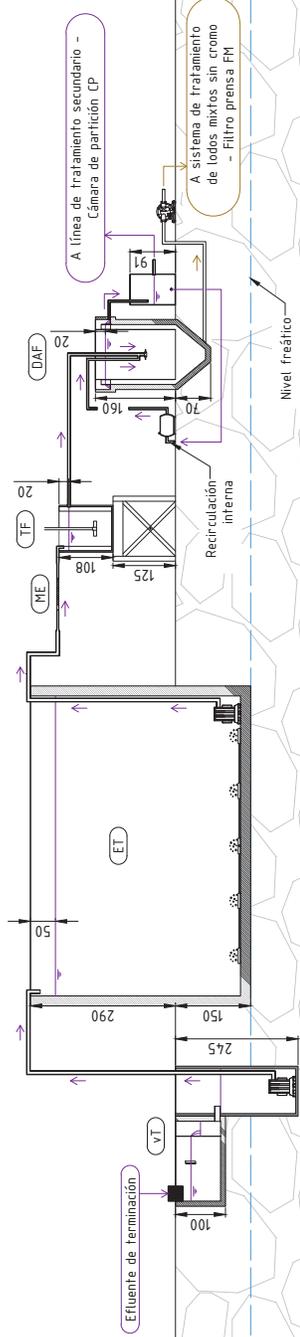
- Siglas (continuación)
- CP: Cámara de partición
 - CA: Cámara anóxica
 - LA: Reactor de lodos activados
 - SZ: Sedimentador secundario
 - CAM: Cámara de aforo y toma de muestras
 - ECR: Espesador de lodos cromados
 - EM: Espesador de lodos mixtos

Revisó:	Fecha:	Nombre:	Descripción:
			Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valdivia, Chile
Aprobó:			
Escala:			
Nº plano:			
1:100			
Perfil hidráulico 01 (esquema) - Sistema de tratamiento de efluentes líquidos			

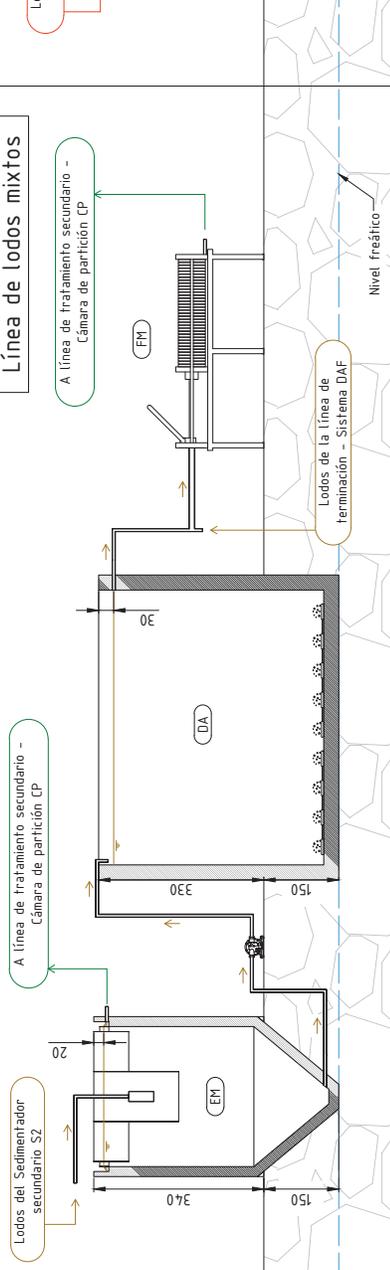


Alumno:
Quinteros Mariano
Carrera:
Ingeniería Ambiental

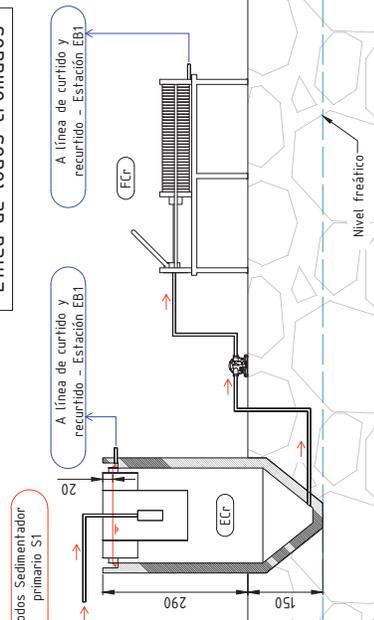
Línea de terminación



Línea de lodos mixtos



Línea de lodos cromados



Referencias

- Unidades en centímetros
- vt: Vertedero de pared delgada - Terminación
 - EBZ: Estación de bombeo - Terminación
 - ET: Tanque equalizador - Terminación
 - ME: Mezclador estático
 - TF: Tanque de floculación
 - DAF: Sistema de flotación por aire disuelto
- Color de flechas
- Azul: Efluente línea de curtido y recurtido
 - Violeta: Efluente línea de terminación
 - Verde: Efluente línea de tratamiento secundario
 - Rojo: Lodos cromados
 - Marrón: Lodos mixtos

- Siglas
- CP: Cámara de partición
 - S2: Sedimentador secundario
 - EB1: Estación de bombeo - Curtido
 - S1: Sedimentador primario

- Siglas (continuación)
- ECr: Espesador de lodos cromados
 - FCr: Filtro prensa para lodos cromados
 - EM: Espesador de lodos mixtos
 - DA: Digestor aeróbico de lodos mixtos
 - FM: Filtro prensa para lodos mixtos

- Revisó:
- Aprobó:
- Escala:
- 1:100
- Nº plano:
- 03

Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valerín, Alajama

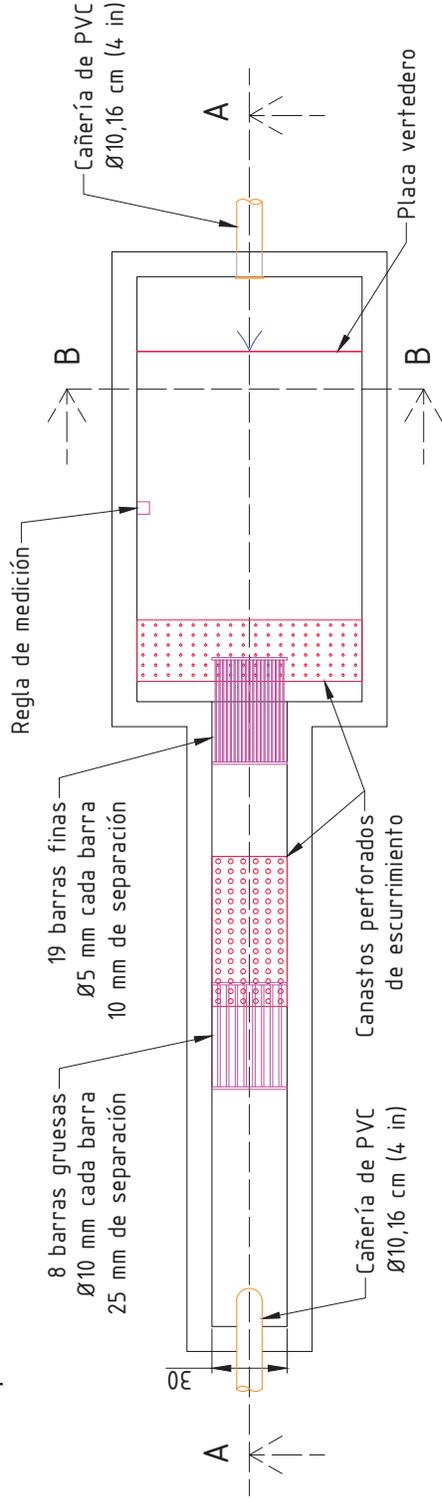


Alumno:
Quinteros Mariano

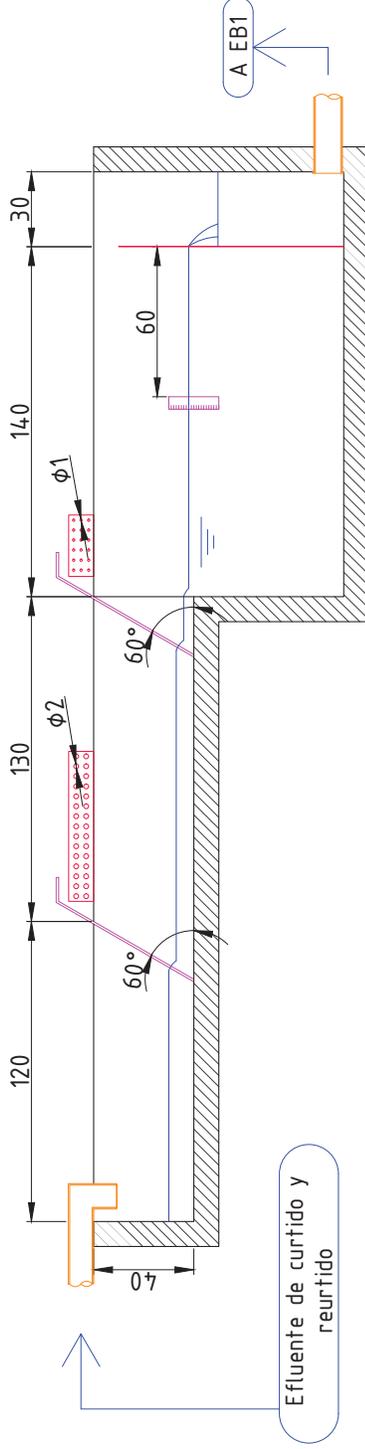
Carrera:
Ingeniería Ambiental

Perfil hidráulico 02 (esquema) - Sistema de tratamiento de efluentes líquidos

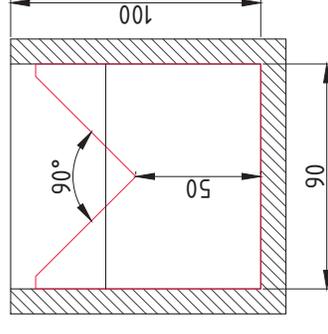
Vista superior



Corte A-A



Corte B-B



Referencias

Unidades en centímetros

- Azul: Efluente línea de curtido y reurtido
- Negro: Hormigón armado
- Magenta: Equipamiento especial
- Rojo: Chaperías
- Naranja: Cañerías de conducción

Siglas

- EB1: Estación de bombeo - Curtido

Fecha: _____
 Revisó: _____
 Aprobó: _____
 Escala: 1:20
 N° plano: 04

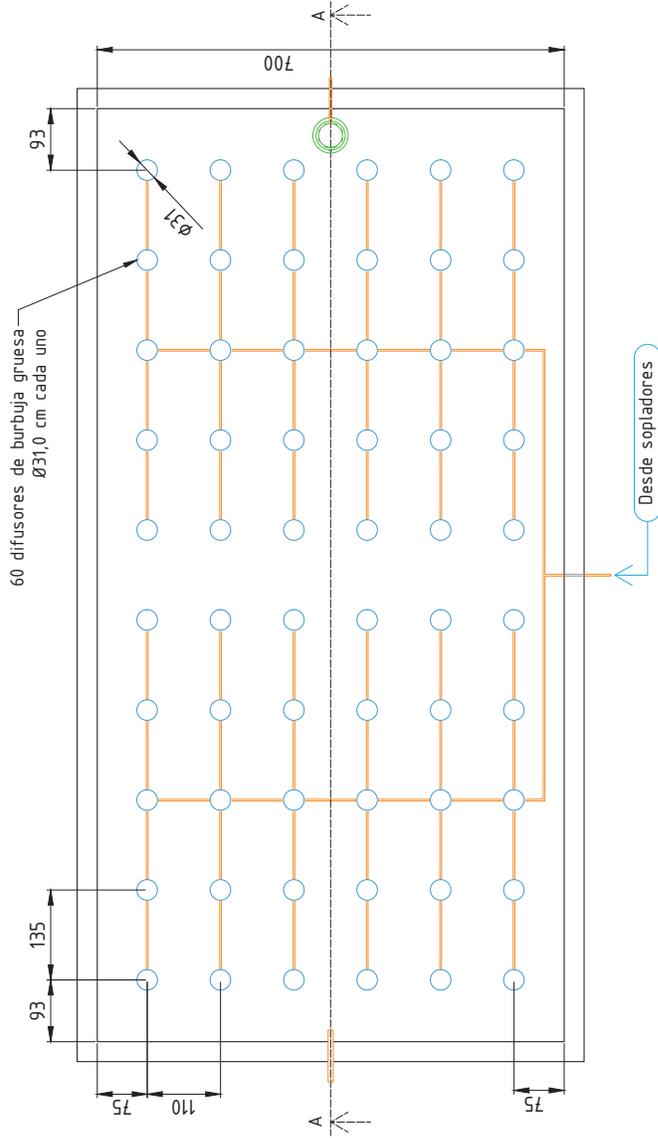
Nombre: _____
 Título: Línea de curtido - Sistema de desbaste y vertedero

Alumno: Quinteros Mariano
 Carrera: Ingeniería Ambiental

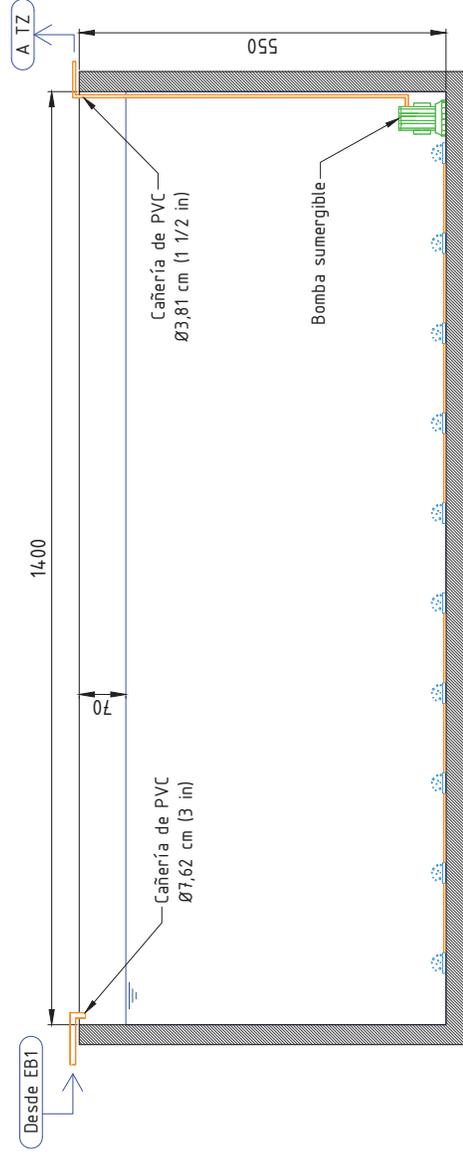
Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina



Vista superior



Corte A-A



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas
- Azul: Efluente línea de curtidido y recorrido
 - Negro: Hormigón armado
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Celeste: Difusores de burbuja
 - Naranja: Cañerías de conducción

Símbolos

- EB1: Estación de bombeo - Curtido
- TZ: Tamiz rotativo

Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:		

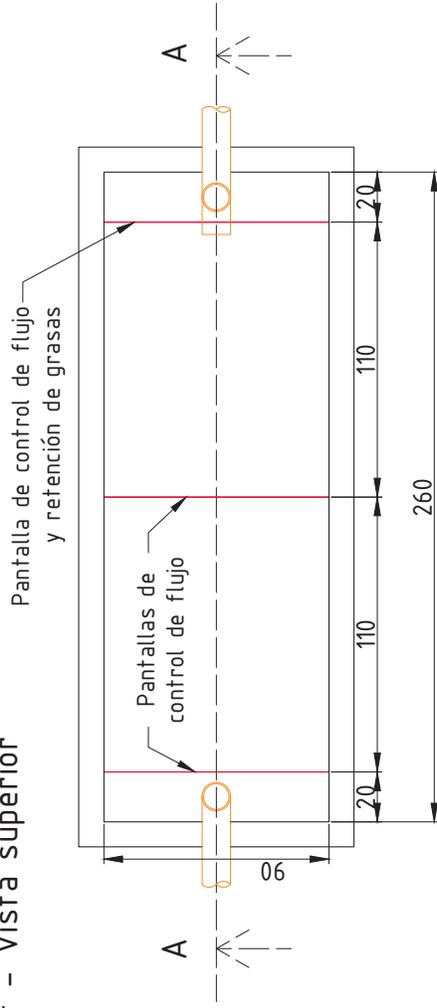


Alumno:
Quinteros Mariano
Carrera:
Ingeniería Ambiental

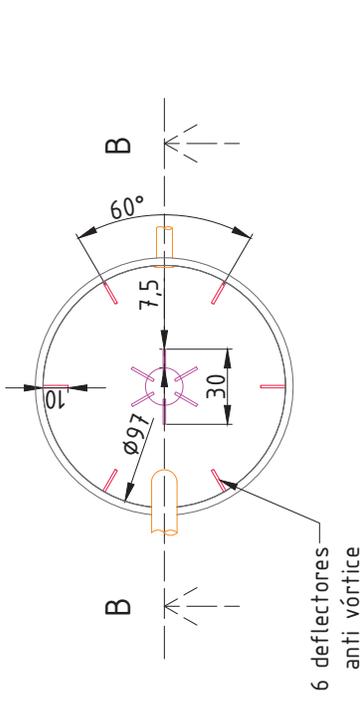
Línea de curtidido - Tanque equalizador

1:75
N° plano:
05

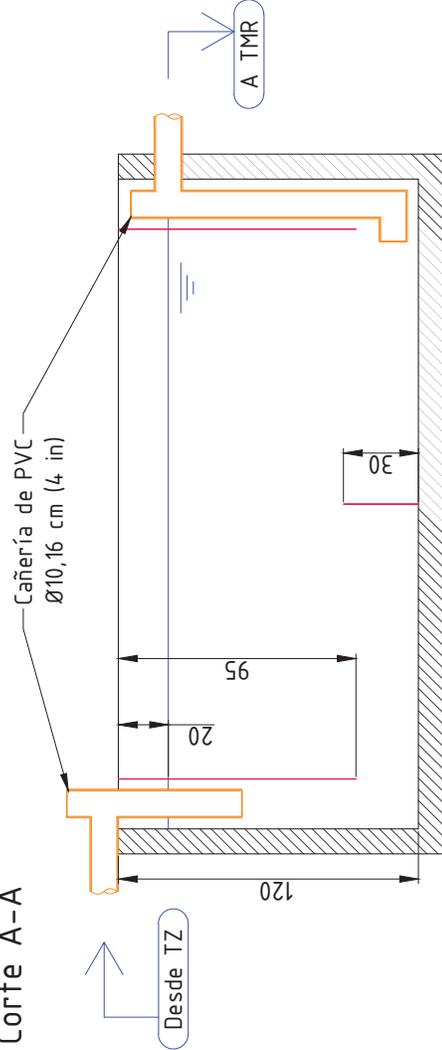
CF - Vista superior



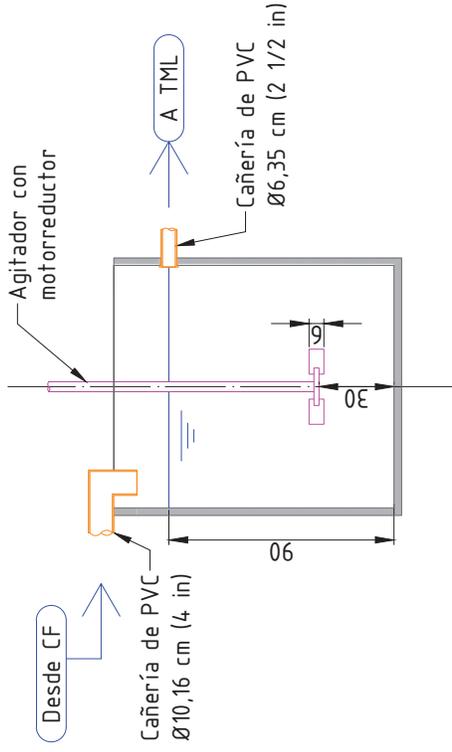
TMR - Vista superior



Corte A-A



Corte B-B



Referencias

- Unidades en centímetros
- Color de líneas
- Azul: Efluente (línea de cortido y recortido)
 - Negro: Hormigón armado
 - Gris oscuro (liso): Tanque comercial
 - Rojo: Chaperías
 - Magenta: Equipamiento especial
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Naranja: Cañerías de conducción

- Siglas:
- TZ: Tamiz rotativo
 - CF: Cámara de flotación simple
 - TMR: Reactor de cromo - Tanque de mezcla rápida

Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentrín, Atsima

Fecha

Revisó:

Aprobó:

Escala:

1:20

Nº plano:

06

Nombre

Línea de cortido -
Cámara de flotación y
tanque mezclador rápido

Alumno:

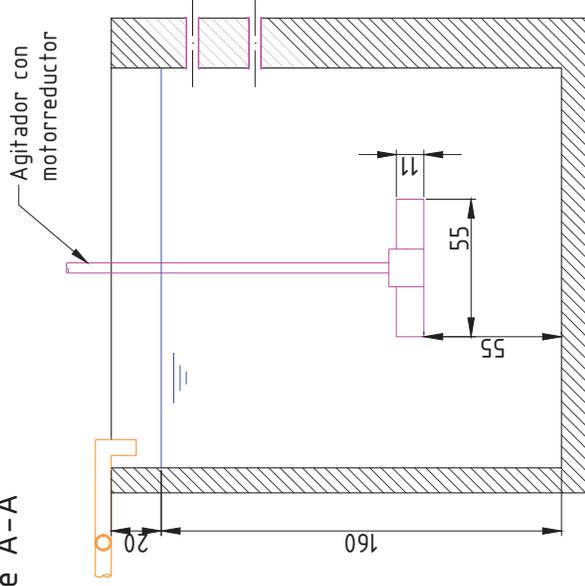
Quinteros Mariano

Carrera:

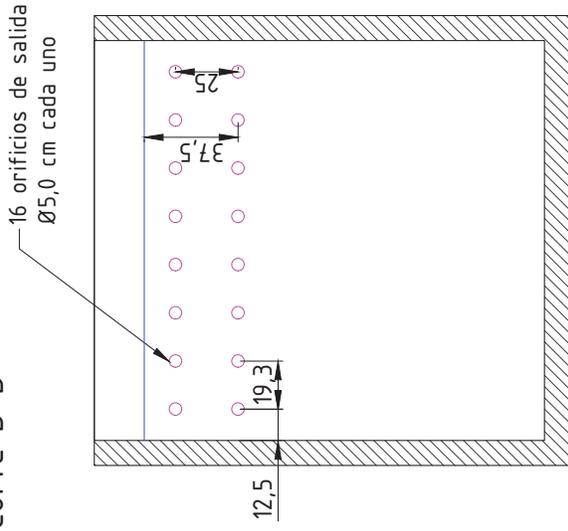
Ingeniería Ambiental



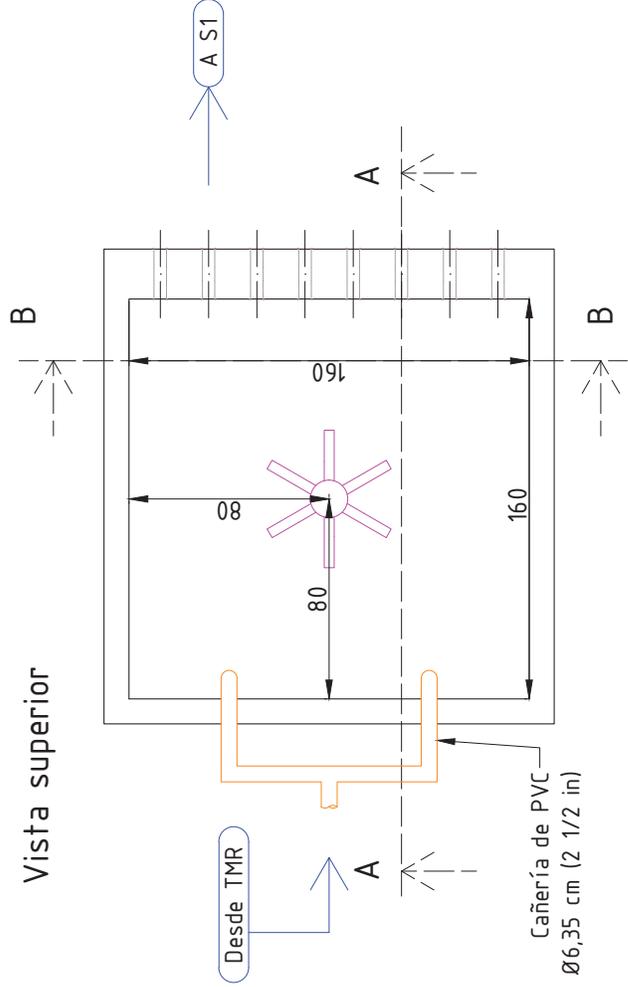
Corte A-A



Corte B-B



Vista superior



Referencias

- Unidades en centímetros
- Color de líneas
- Azul: Efluente línea de curtido y recorrido
 - Negro: Hormigón armado
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Magenta: Equipamiento especial
 - Naranja: Cáñerías de conducción
- Siglas:
- TMR: Reactor de cromo - Tanque de mezcla rápida
 - S1: Sedimentador primario

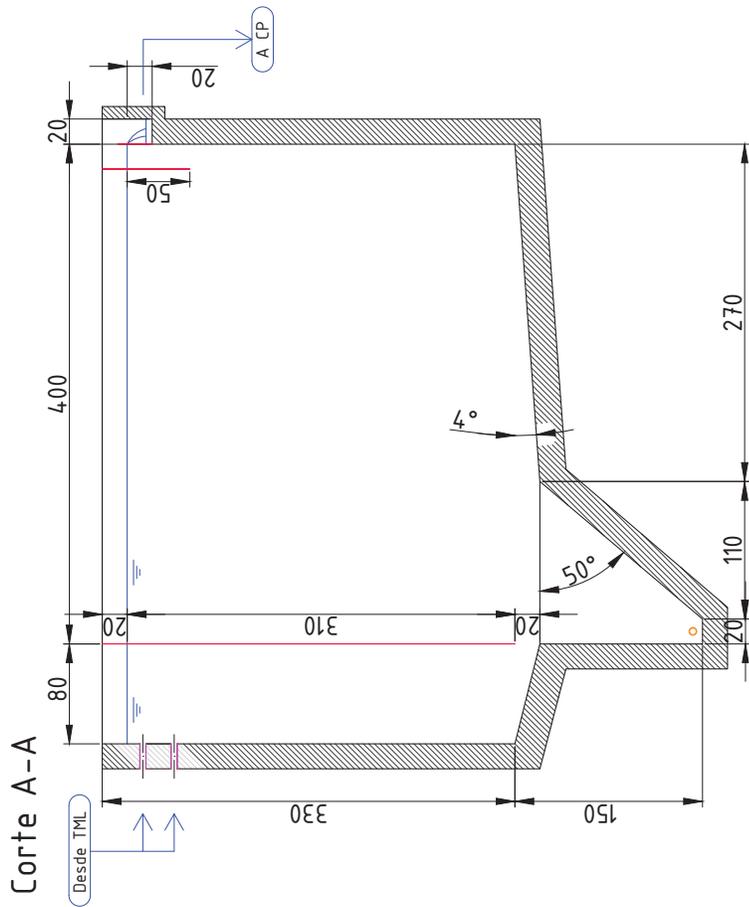
Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:		



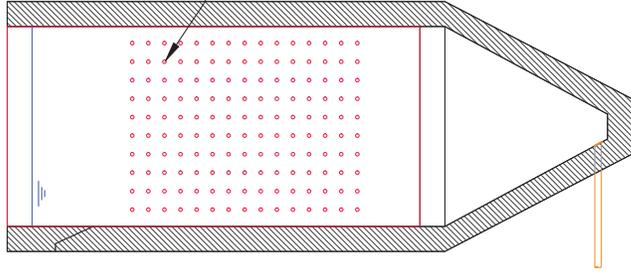
Alumno:	Quinteros Mariano
Carrera:	Ingeniería Ambiental

Línea de curtido -
Tanque de mezcla lenta

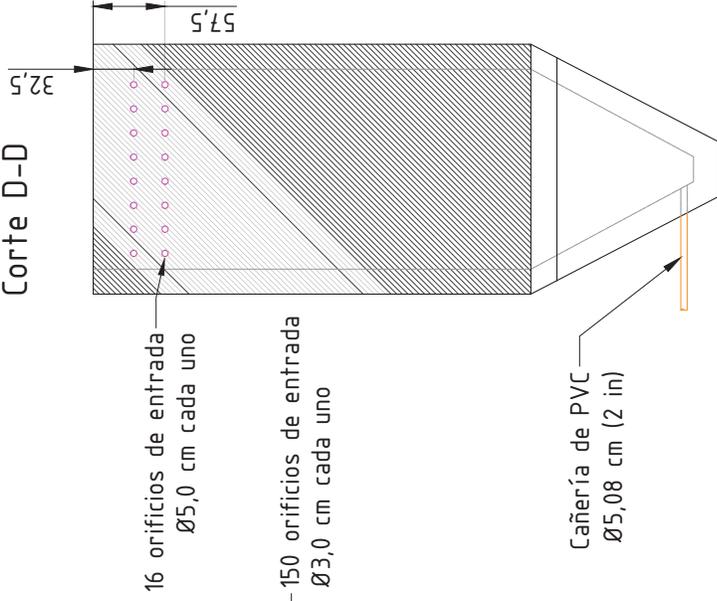
Nº plano:
07



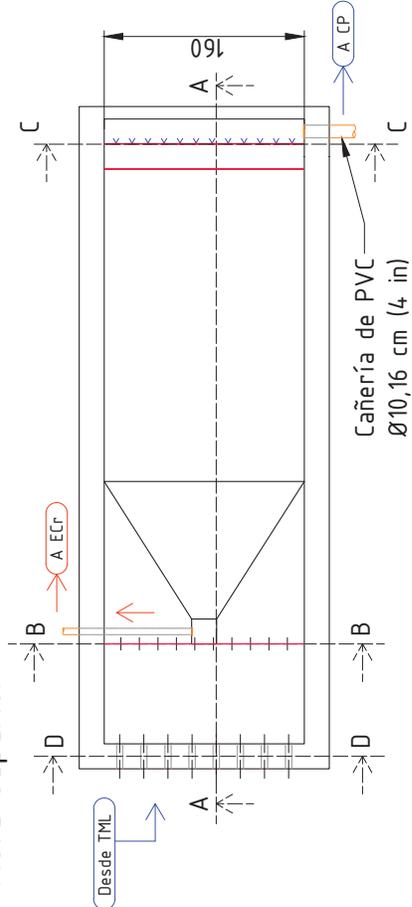
Corte B-B



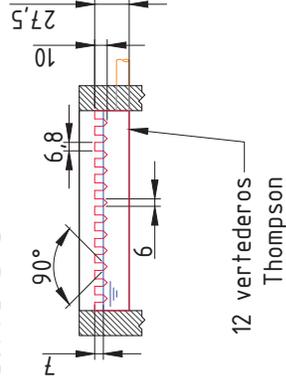
Corte D-D



Vista superior



Corte C-C



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas:
- Azul: Efluente línea de curtidido y recorrido
 - Naranja oscuro: Lodos cromados
 - Negro: Hormigón armado
 - Púrpura: Charcerías
 - Magenta: Equipamiento especial
 - Naranja: Cañerías de conducción

- Siglas:
- TMR: Reactor de cromo - Tanque de mezcla lenta
 - CP: Cámara de partición
 - ECr: Espesador de lodos cromados

Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:	1:40	
Nº plano:	08	

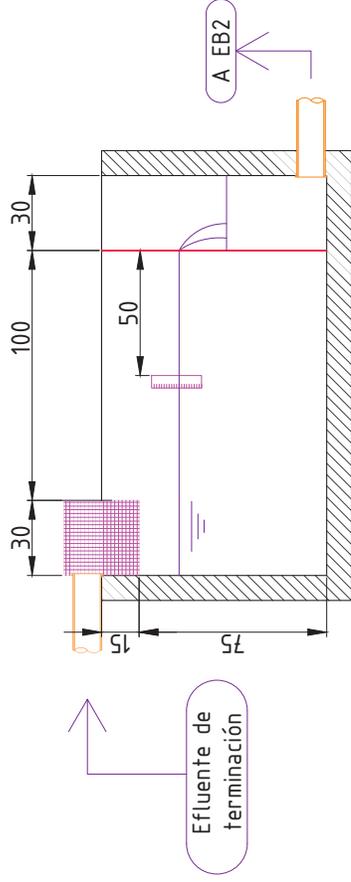
Línea de curtidido -
Sedimentador primario

Alumno:
Quinteros Mariano

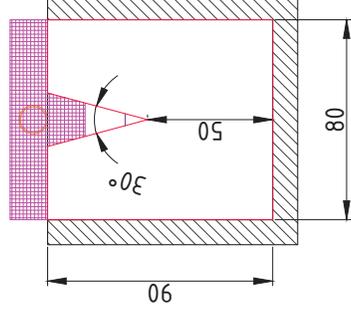
Carrera:
Ingeniería Ambiental



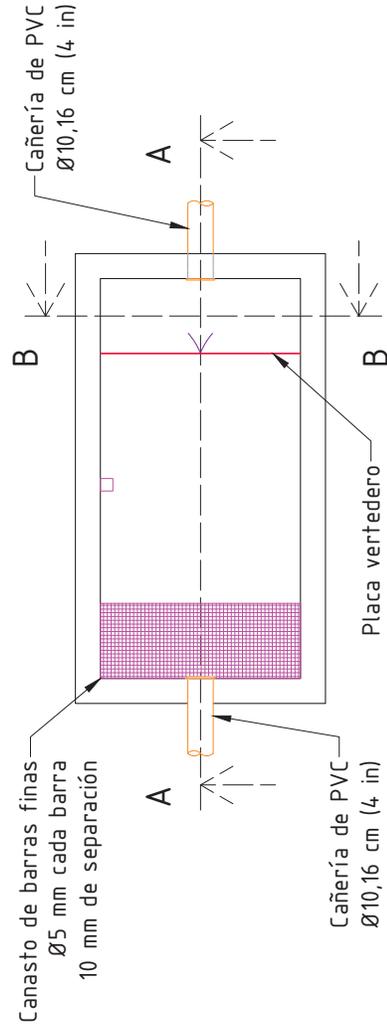
Corte A-A



Corte B-B



Vista superior



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas: Efluente línea de terminación
- Negro: Horigión armado
- Magenta: Equipamiento especial
- Rojo: Chaperías
- Naranja: Cañerías de conducción

Siglas

- EB2: Estación de bombeo - Terminación

Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina

Fecha

Revisó:

Aprobó:

Escala:

Nº plano:

09

Nombre

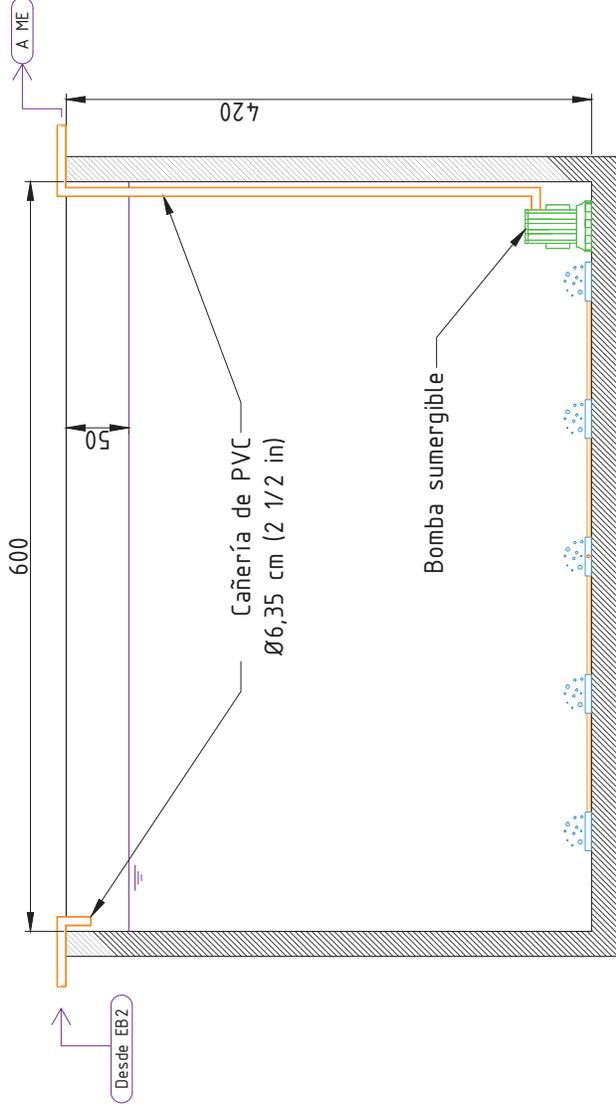


Alumno:
Quinteros Mariano

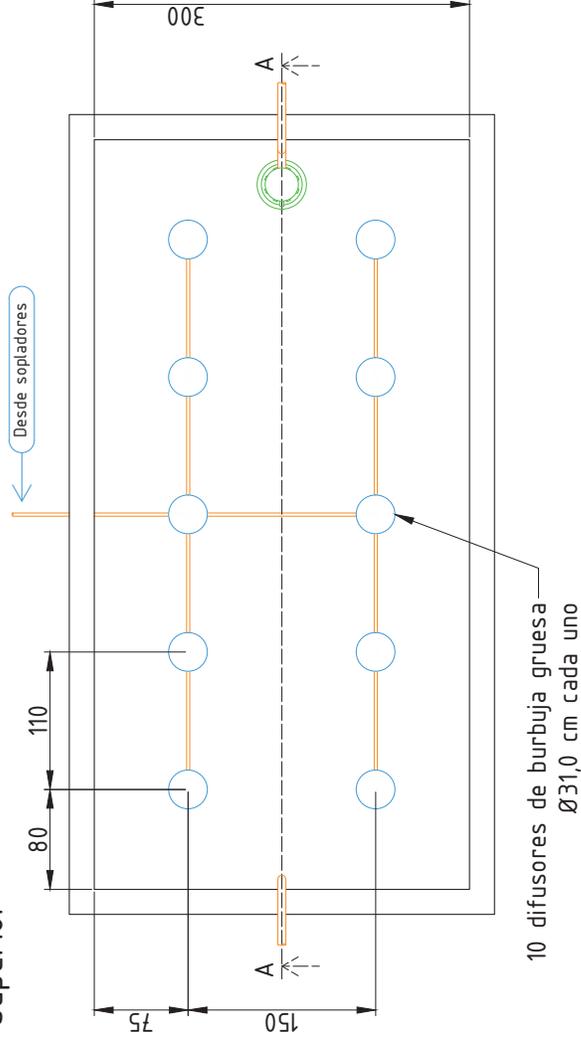
Carrera:
Ingeniería Ambiental

Línea de terminación - Sistema de desbaste y vertedero

Corte A-A



Vista superior



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas
- Violeta: Efuyente línea de terminación
 - Negro: Hormigón armado
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Celeste: Difusores de burbuja
 - Naranja: Cañerías de conducción

- Signos:
- EB2: Estación de bombeo - Terminación
 - ME: Mezclador estático

Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:		

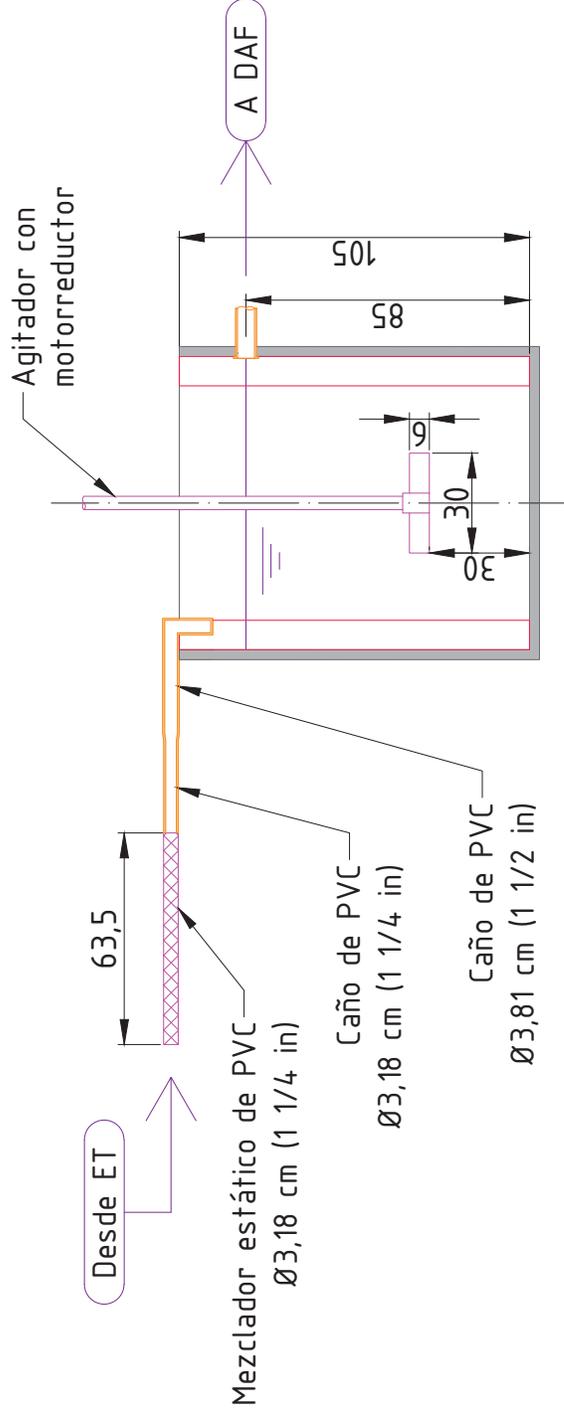


Alumno:
Quinteros Mariano
Carrera:
Ingeniería Ambiental

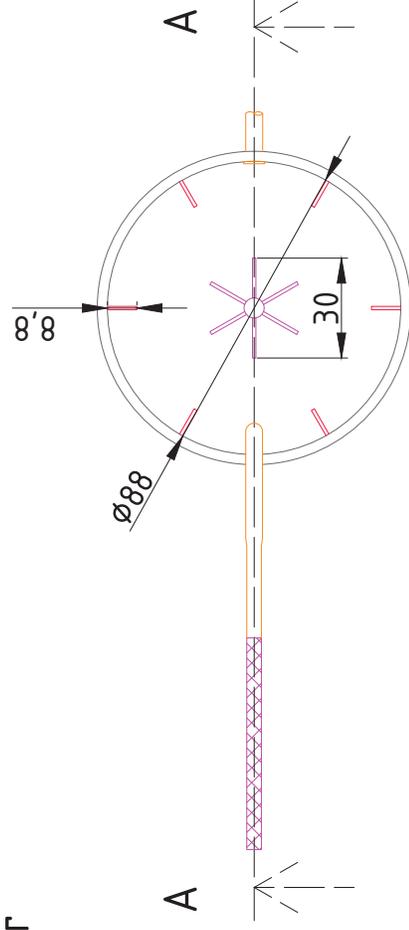
Línea de terminación - Tanque equalizador

Nº plano:
10

Corte A-A



Vista superior



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas
- Violeta: Efluente Línea de terminación
 - Gris oscuro (liso): Tanque comercial
 - Magenta: Equipamiento especial
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Naranja: Cámaras de conducción

Siglas

- ET: Tanque actualizador - Terminación
- DAF: Sistema de flotación por aire disuelto

Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valerín Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:		

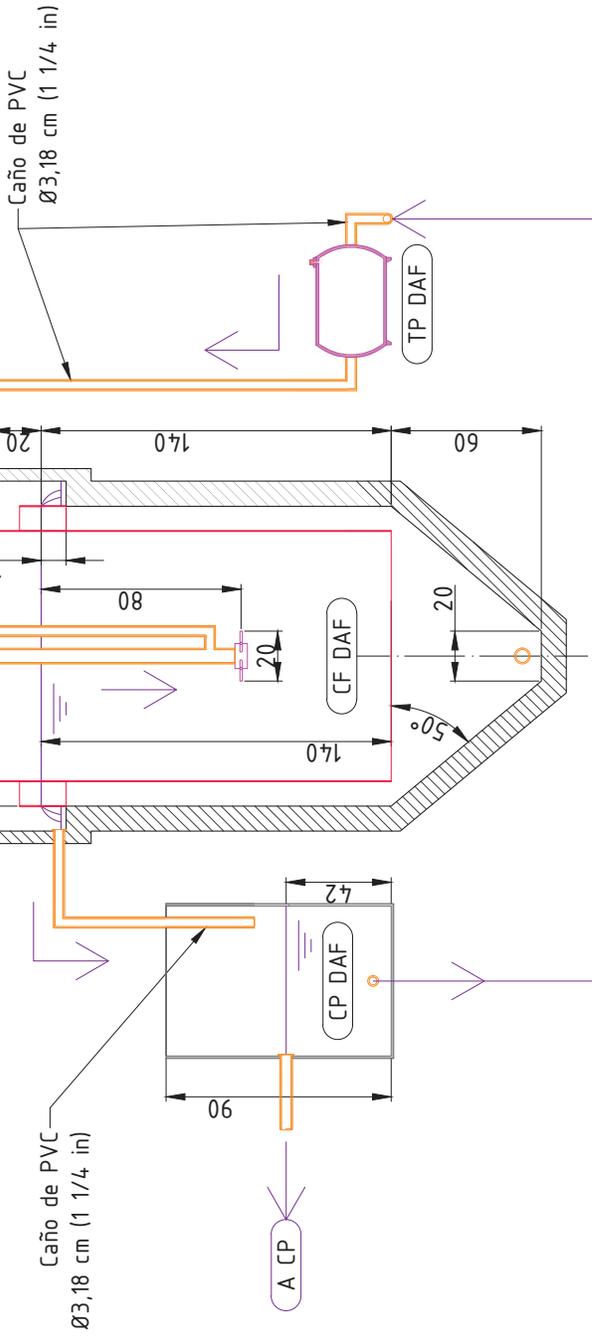


Alumno:
Quinteros Mariano
Carrera:
Ingeniería Ambiental

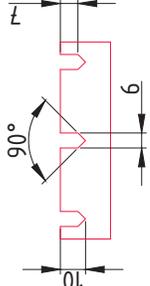
Línea de terminación - Tanque de floculación

1:15
Nº plano:
11

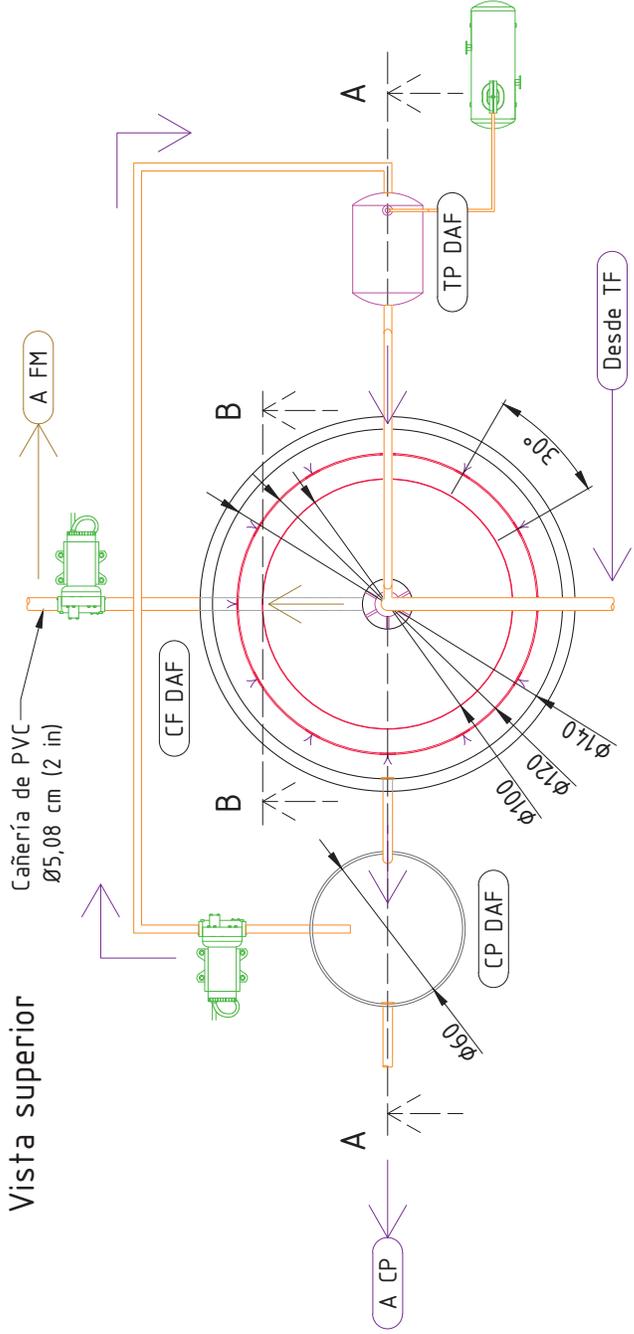
Corte A-A



Corte B-B



Vista superior



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas
- Violeta: Efuyente línea de terminación
 - Marrón: Lodos mixtos
 - Negro: Hormigón armado
 - Gris oscuro (liso): Tanque comercial
 - Rojo: Chaperías
 - Magenta: Equipamiento especial
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Naranja: Cañerías de conducción
- Siglas:
- TF: Tanque de floculación
 - CP: Cámara de partición
 - PH: Filtro prensa para lodos mixtos
 - DAF: Sistema de flotación por aire disuelto
 - CF DAF: Cámara de flotación del sistema DAF
 - CP DAF: Cámara partidora del sistema DAF
 - TP DAF: Tanque de presurización del sistema DAF

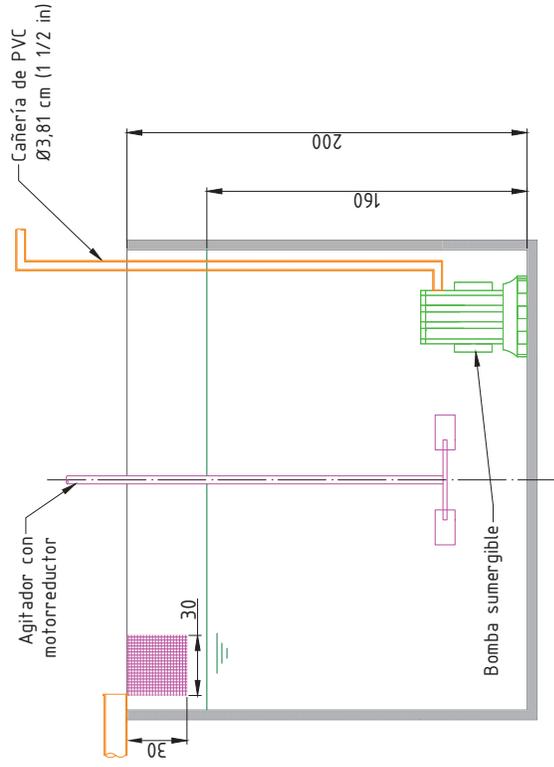
Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:	1:20	
Nº plano:	12	



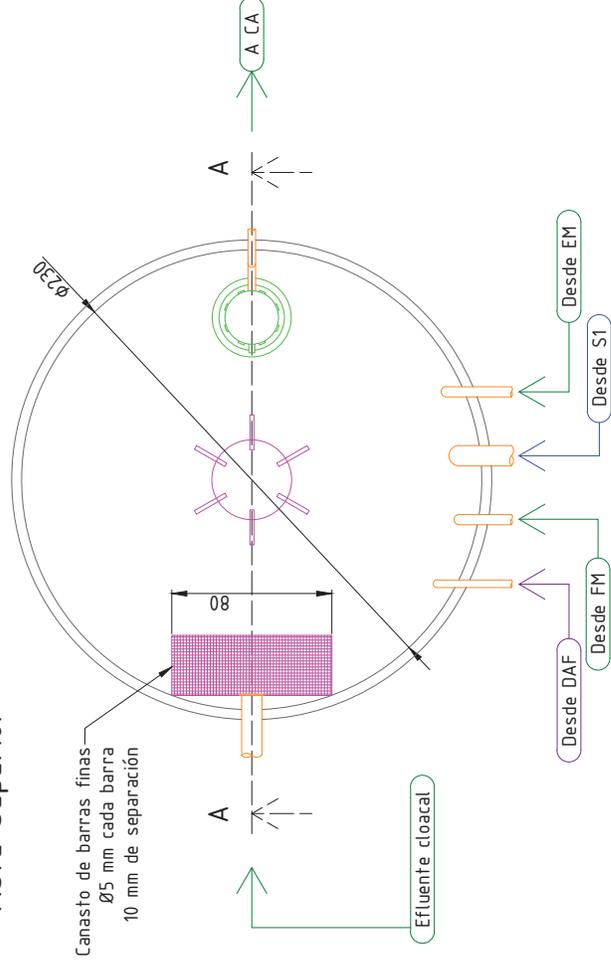
Alumno:
Quinteros Mariano

Carrera:
Ingeniería Ambiental

Corte A-A



Vista superior



Referencias

Unidades en centímetros

Color de líneas:

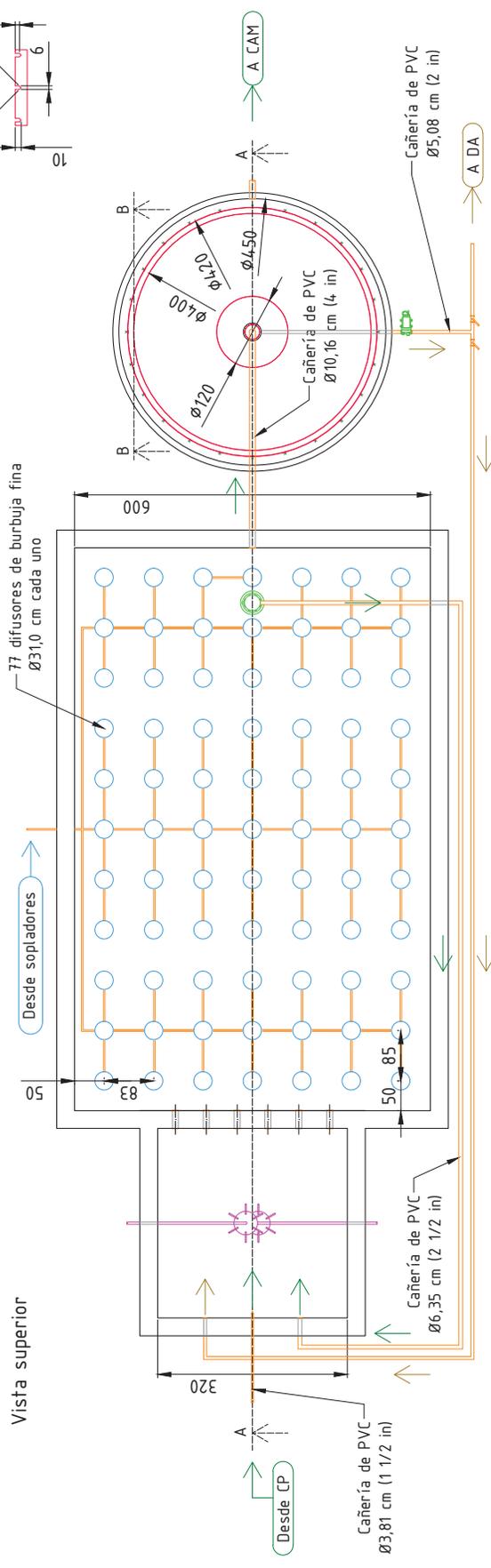
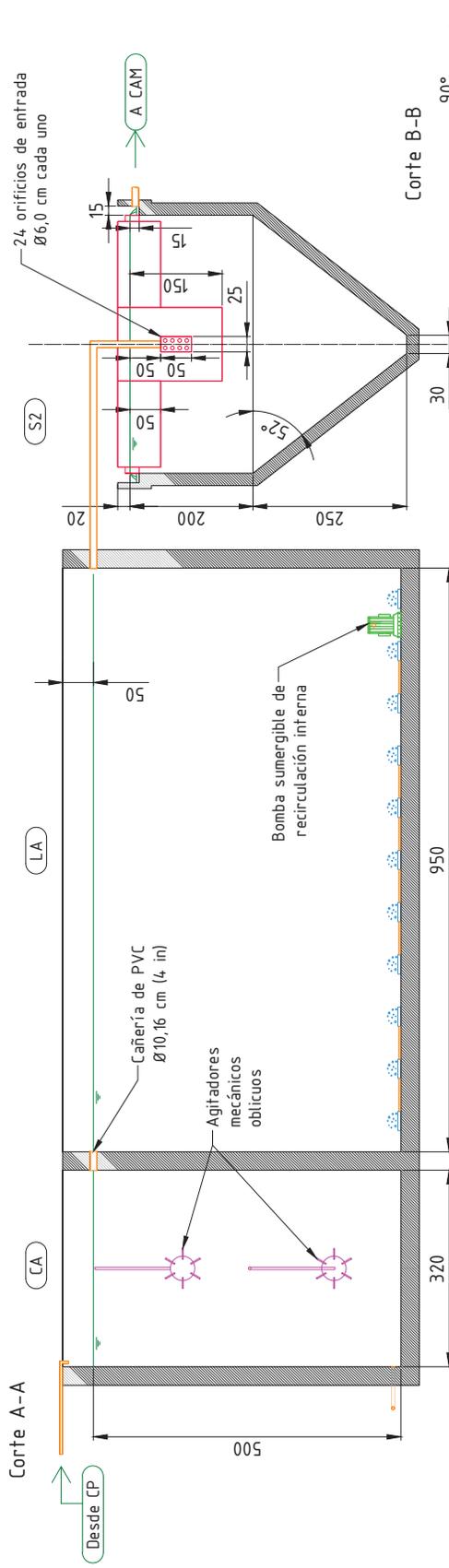
- Azul: Efluente línea de curfido y recurtido
- Violeta: Efluente línea de floculación
- Verde oscuro: Efluente de Tratamiento secundario
- Negro: Hormigón armado
- Gris oscuro (Isol): Tanque comercial
- Púrpura: Chaperías
- Magenta: Equipamiento especial
- Verde claro: Bombas y motores
- Naranja: Cañerías de conducción

Siglas:

- DAF: Sistema de flotación por aire disuelto
- S1: Sedimentador primario
- FM: Filtro prensa para lodos mixtos
- EM: Espesador de lodos mixtos
- CA: Cámara anóxica

Fecha	Nombre	
Revisó:		
Aprobó:		Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina
Escala:		
1:25		
N° plano:		
13		
Alumno:		
Quinteros Mariano		
Carrera:		
Ingeniería Ambiental		

Tratamiento secundario - Cámara de partición

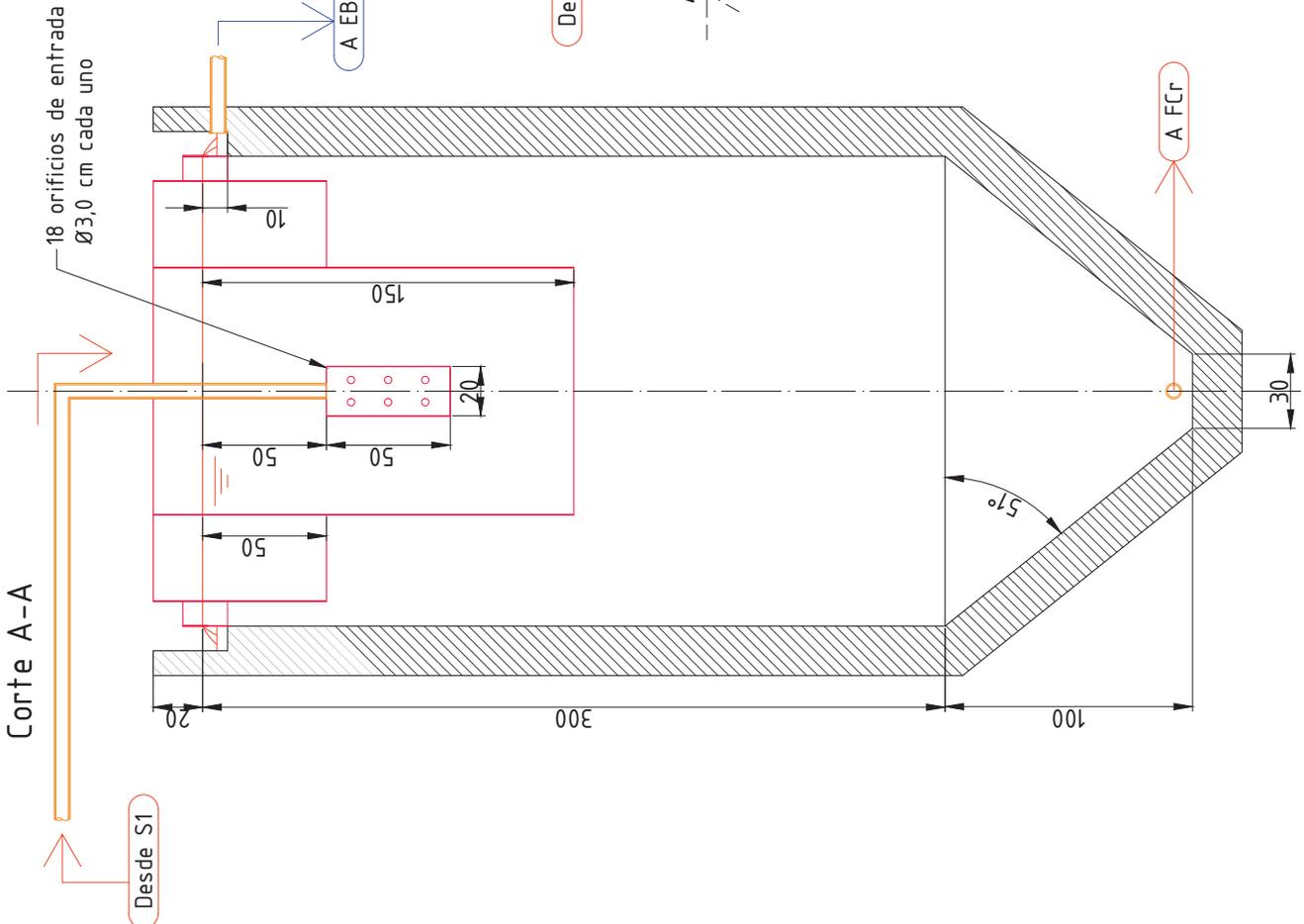


Fecha	Nombre	Revisión	Descripción
			Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina

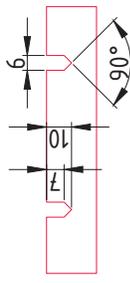
<p>Referencias</p> <p>Unidades en centímetros</p> <p>Color de líneas</p> <ul style="list-style-type: none"> Verde: Efluente línea de tratamiento secundario Marrón: Lodos mixtos Negro: Hormigón armado Rojos: Chaperías Magenta: Equipamiento especial Celeste: Difusores de burbuja Verde claro: Bombas y motores Naranja: Cañerías de conducción 	<p>Alumno: Quinteros Mariano</p> <p>Carrera: Ingeniería Ambiental</p>
--	---

<p>Referencias</p> <p>CP: Cámara de partición</p> <p>CA: Cámara anóxica</p> <p>LA: Reactor de lodos activados</p> <p>S2: Sedimentador secundario</p> <p>CAM: Cámara de aforo y toma de muestras</p> <p>DA: Digestor aeróbico</p>	<p>Revisión:</p> <p>Aprueba:</p> <p>Escala: 1:75</p> <p>Nº plano: 14</p>	<p>Nombre: Tratamiento secundario - Cámara anóxica, reactor de lodos activados y sedimentador secundario</p>
---	--	---

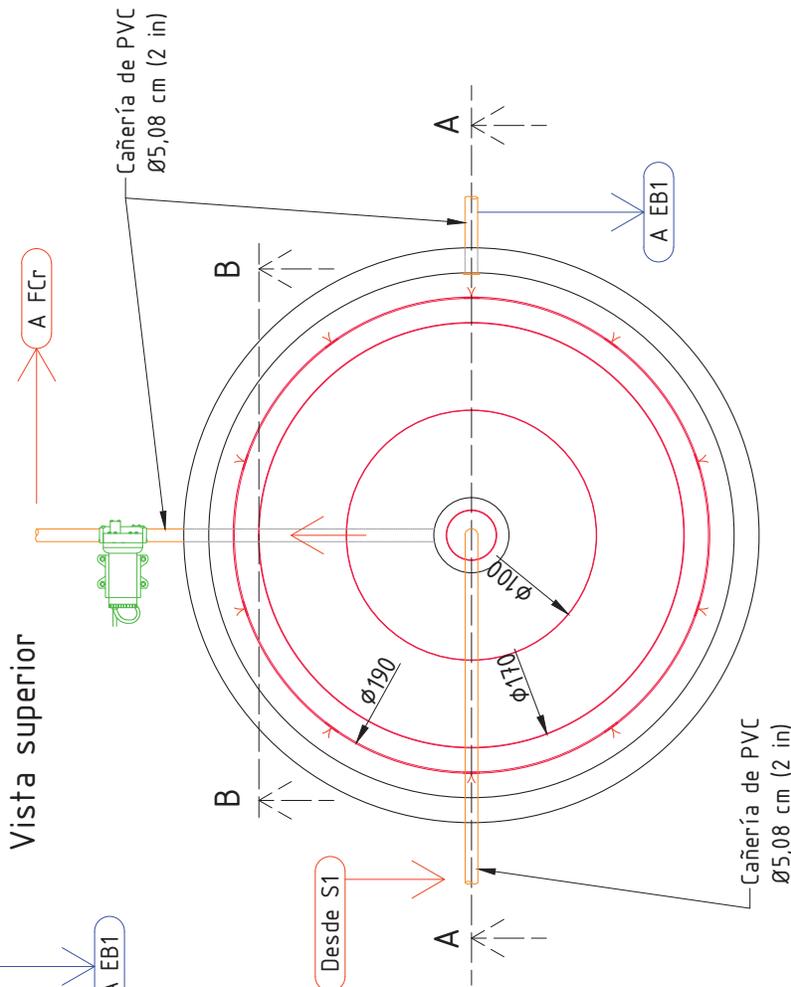
Corte A-A



Corte B-B



Vista superior



Referencias

- Unidades en centímetros
- Siglas
- EB1: Estación de bombeo - Curtid
 - S1: Sedimentador primario
 - FCr: Filtro prensa para lodos cromados

- Color de líneas
- Azul: Efluente línea de curtid y recorrido cromados
 - Naranja oscuro: Lodos cromados
 - Negro: Hormigón armado
 - Rojo: Chaperías y motores
 - Verde claro: Bombas
 - Naranja: Cañerías

Fecha	Nombre
Revisó:	
Aprobó:	
Escala:	1:20
Nº plano:	15

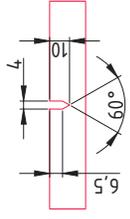
Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina

Alumno:
Quinteros Mariano
Carrera:
Ingeniería Ambiental

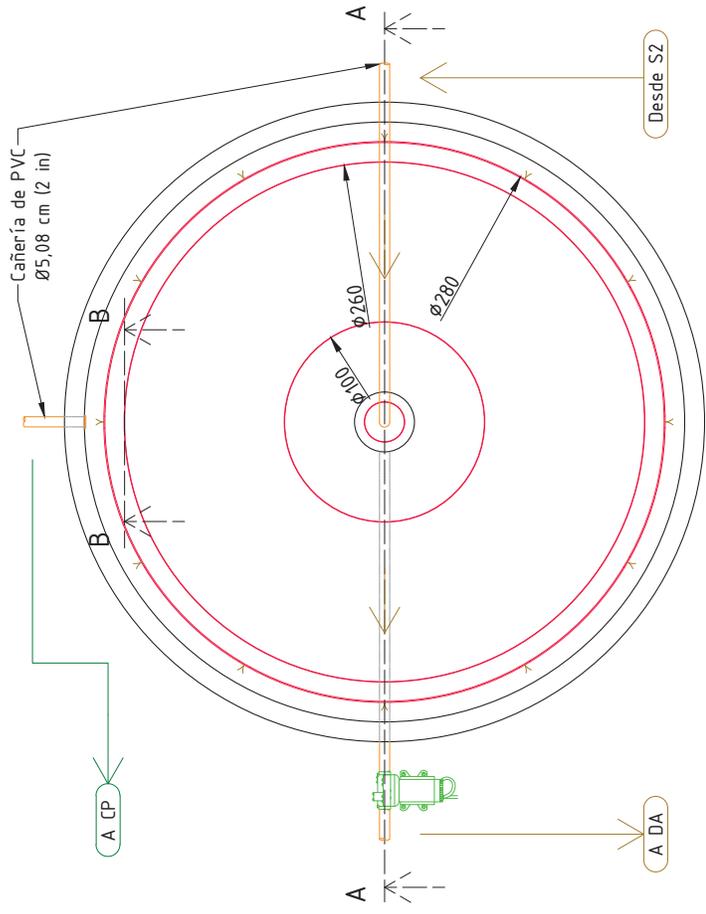


Tratamiento de lodos cromados - Espesador

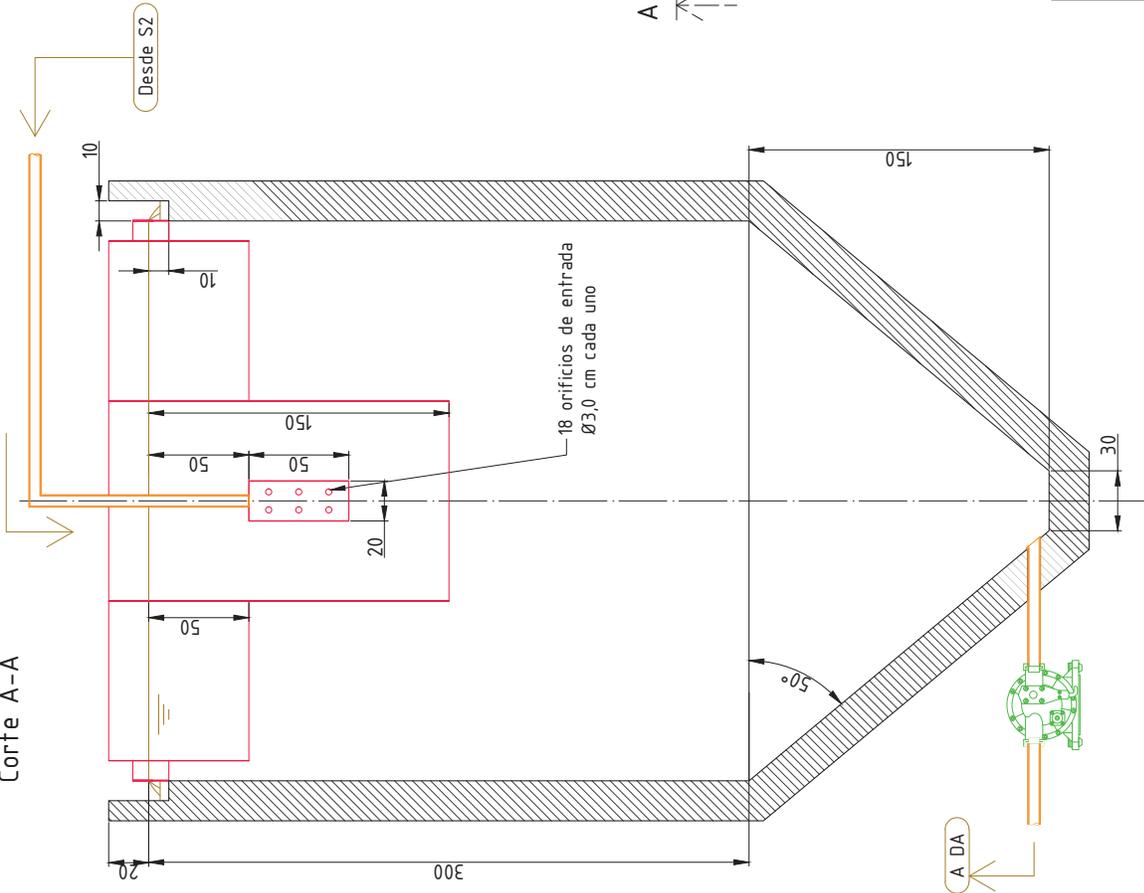
Corte B-B



Vista superior



Corte A-A



Referencias

- Unidades en centímetros
- Siglas
- CP: Cámara de partición secundario
 - S2: Sedimentador
 - DA: Digestor aeróbico
- Color de líneas
- Verde: Efluente línea de tratamiento secundario
 - Marrón: Lodos mixtos
 - Negro: Hormigón armado
 - Rojo: Chaperías
 - Verde claro: Bombas y motores
 - Naranja: Cañerías

Revisión:
 Aprobó:
 Escala: **1:25**
 Nº plano: **16**

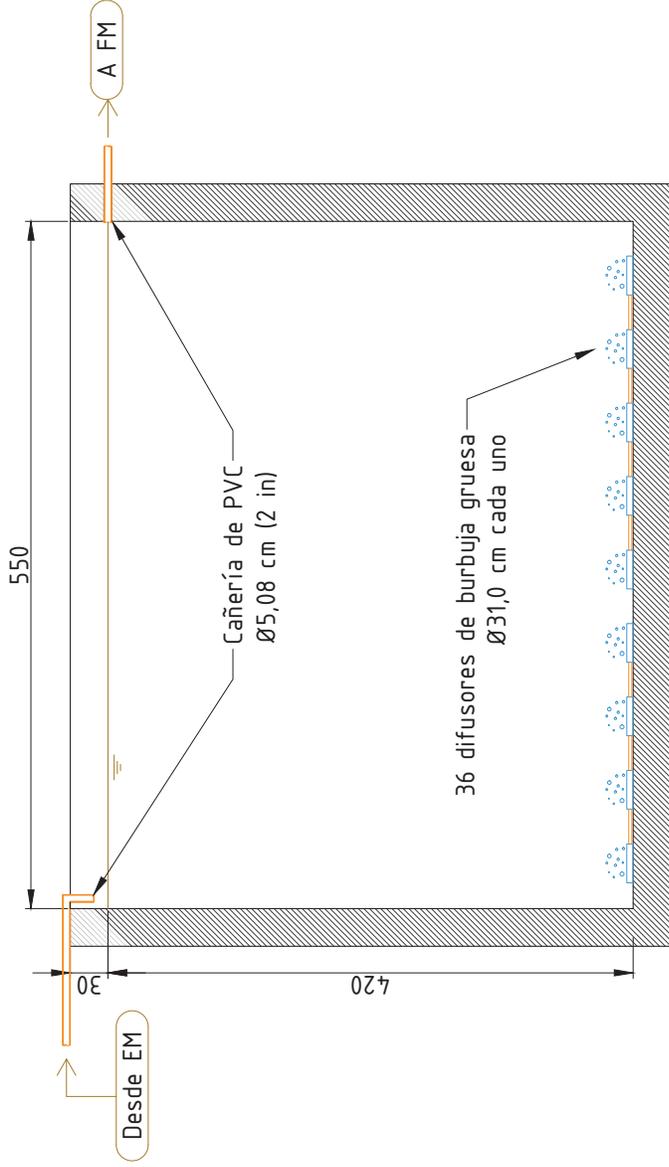
Fecha:
 Nombre:
 Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valentin Alsina



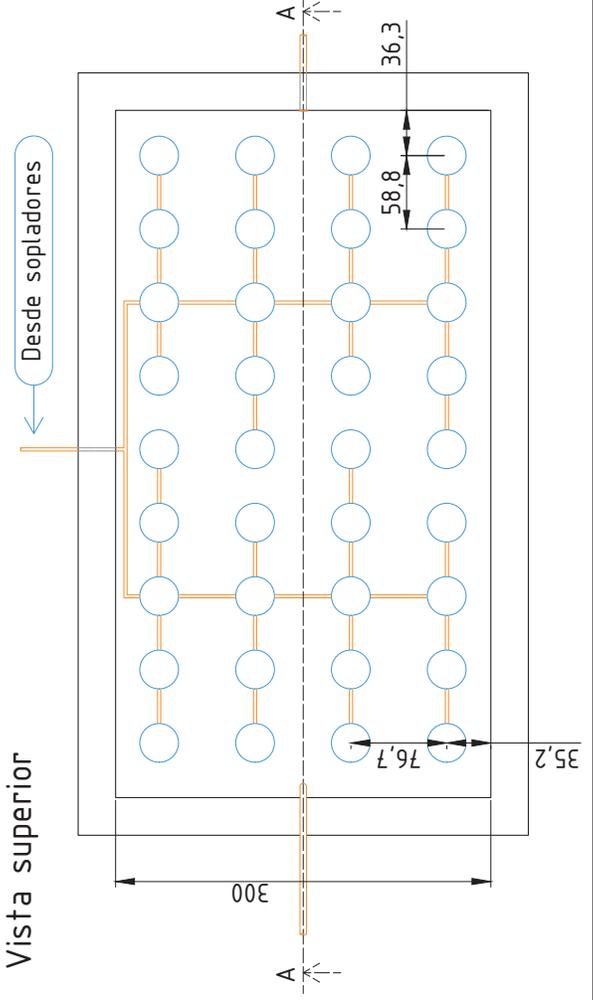
Alumno:
 Quinteros Mariano
 Carrera:
 Ingeniería Ambiental

Tratamiento de lodos mixtos - Espesador

Corte A-A



Vista superior



Referencias

Unidades en centímetros

- Color de líneas
- Marrón: Lodos mixtos
 - Negro: Hormigón armado
 - Celeste: Difusores de burbuja
 - Naranja: Cañerías de conducción

- Signos:
- EM: Especador de lodos mixtos
 - FM: Filtro prensa para lodos mixtos

Fecha	Nombre	Diseño de un sistema de tratamiento para los efluentes líquidos y de un sistema de ventilación localizada para las emisiones gaseosas de una curtiembre localizada en Valerín Alsina
Revisó:		
Aprobó:		
Escala:		

Tratamiento de lodos mixtos - Digestor aeróbico	
Nº plano:	17



Alumno:
Quinteros Mariano
Carrera:
Ingeniería Ambiental