UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

3iA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final Integrador de la Carrera

Ingeniería Ambiental

Diseño de una Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos para una Industria de Curtido de Pieles ubicada en el Parque Industrial de Pilar

- Fernanda Jimena Alonso –

San Martín, 2019

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos……..1

Resumen..……7

CAPITULO N°1…….……..……8

1. Introducción……..……8
   1.1. Justificación…….8
   1.2. Objetivos……..8
   1.3. Introducción a la Industria del Cuero…….....9

CAPÍTULO N°2……..……..10

2. Marco Teórico…….....10
   2.1. Industria de Curtiduría en Parque Industrial Pilar……...10
      2.1.1. Parque Industrial Pilar…….……..10
      2.1.2. Río Luján…….……12
   2.2. Proceso de Curtido de Pieles…….15
      2.2.1. Etapa de Ribera……..……15
      2.2.2. Proceso de Curtido al Cromo……..…17
      2.2.3. Proceso de Acabado…….…18
   2.3. Generación de Residuos y Aspectos Ambientales…….19
      2.3.1. Residuos Líquidos……..……20
      2.3.2. Residuos Sólidos…….……..29
      2.3.3. Otros Residuos Generados…….……..32

2.4. Normativa Ambiental……32
2.5. Tratamiento y Disposición Final del Efluente Líquido……34
2.6. Generación, Tratamiento y Disposición Final de Barros……35

CAPÍTULO N°3……..…..37

3. Descripción del Tratamiento y Análisis de las Alternativas.....37
3.1. Descripción del Tratamiento……...37
3.2. Segregación del Efluente en el Proceso de Remojo……..38
3.3. Diagrama General del Tratamiento de Efluentes……41
3.4. Descripción de las Alternativas para la Línea Principal……42
3.4.1. Alternativa 1: Laguna Aireada Mecánicamente……...…42
3.4.2. Alternativa 2: Reactor UASB + Lecho Percolador……..……..43
3.4.3. Alternativa 3: Lodos Activados……...…48
3.5. Análisis Comparativo de las Alternativas de L1……..50
3.6. Selección de la Alternativa para L1…….....…53
3.7. Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos……..54

CAPÍTULO N°4……..……...57

4. Memoria Descriptiva del Sistema Seleccionado……..….57
4.1. Descripción del Tratamiento para la Línea Principal……..57
4.1.1. Pretratamiento…..…….…….57
a. Sistema de Desbaste……57
b. Cámara de Homogeneización……59
4.1.2. Tratamiento Primario Fisicoquímico…….……..59
a. Flotación por Aire Disuelto……..59
b. Remoción de Sulfuro……61
c. Remoción de Cromo……62
4.1.3. Tratamiento Secundario Biológico…….……64
a. Proceso de Lodos Activados……...64

4.2. Descripción del Tratamiento para la Línea Segregada……..65
4.2.1. Sistema de Desbaste…….……...65
4.2.2. Proceso de Ultrafiltración……..……66
4.2.3. Proceso de Ósmosis Inversa…….……..67

CAPÍTULO N°5……..…..…70

5. Memoria de Cálculo del Diseño de Tratamiento Seleccionado…...70
5.1. Diseño de las Unidades de la Línea Principal (L1)……70
5.1.1. Pretratamiento……...…….……70
a. Sistema de Desbaste……70
- Sistema de Rejas……...70
- Tamiz Rotativo……73
b. Cámara de Homogeneización……74
5.1.2. Tratamiento Primario Fisicoquímico…….…..76
a. Flotación por Aire Disuelto……..76
b. Remoción de Sulfuros……..80
c. Remoción de Cromo……82
5.1.3. Tratamiento Secundario Biológico…….…88
a. Reactor Biológico de Lodos Activados……..88
b. Sedimentador Secundario……100
5.2. Diseño de las Unidades de la Línea Segregada (L2)……...108
5.2.1. Sistema de Desbaste…….……109
- Sistema de Rejas……109
- Tamiz Rotativo……109
5.2.2. Proceso de Ultrafiltración…….…..110
5.2.3. Proceso de Ósmosis Inversa……..…111

CAPÍTULO N°6……..……114

6. Tratamiento de los Lodos Generados……..….114

6.1. Lodos de la Remoción de Cromo……115

6.1.1. Recuperación de Sal de Cromo…….……...116

6.2. Alternativa Propuesta para los Lodos de la Planta……...117

6.2.1. Proceso de Compostaje de Lodos……..……..118

6.2.2. Pilas de Compostaje…….…..120

CAPÍTULO N°7……..……122

7. Conductos y Anexos de la Planta……..…122

7.1. Conductos entre las distintas Unidades……122

7.1.1. Conducciones por gravedad…….…….123

7.1.2. Conducciones por impulsión…….…….127

a. Impulsión desde Ecualizador a DAF……...127

b. Impulsión dentro del Sistema DAF……..128

c. Impulsión desde Sedimentador 2º a Reactor Biológico…...129

7.2. Salas Anexas a la Planta……..130

7.2.1. Sala de Sopladores de Aire…….……..130

7.2.2. Centro de Monitoreo……....130

7.2.3. Sala de Control y Laboratorio……....131

7.2.4. Almacenamiento de Productos Químicos……..…..131

CAPÍTULO N°8……..……132

8. Cómputos y Presupuestos del Proyecto……132

8.1. Inversión Inicial…….…..132

8.2. Operación y Mantenimiento……..135

8.3. Costos de tercerización del efluente……...137

8.4. Análisis de Factibilidad……..137

CAPÍTULO N° 9…….138

9. Estudio de Impacto Ambiental…….138
9.1. Metodología…….139
9.2. Descripción del Proyecto……..140
9.2.1. Etapas del Proyecto…….....141
9.3. Área de Influencia……..143
9.4. Línea de Base…….144
9.4.1. Características Climáticas……..……144
9.4.2. Condiciones Topográficas …….……145
9.4.3. Características Hidrológicas……...…….…..145
9.4.4. Biogeografía: Flora y Fauna……..….148
9.4.5. Usos del Suelo…….149
9.4.6. Situación Socioeconómica…….……150
9.5. Identificación y Evaluación de Impactos……..…….…152
9.5.1. Identificación de Acciones…….…….152
9.5.2. Identificación de Factores……..…….153
9.5.3. Criterios para la Evaluación de Impactos…….……...154
9.5.4. Matriz de Impactos Ambientales…….…..158
9.5.5. Descripción de los Impactos Ambientales……...160
9.6. Plan de Gestión Ambiental……...162
9.6.1. Programa de Prevención……..…..163
9.6.2. Programa de Monitoreo…….….164
9.6.3. Programa de Mitigación…….…….165
9.6.4. Programa de Contingencia…….……...165
9.6.5. Programa de Capacitación…….……166
9.7. Conclusiones del EsIA……...166

CAPÍTULO N°10……..……..168

10. Disposición y Planos de la Planta…….....168

10.1. Disposición e Implantación Planta en el Predio……..…..……168

10.2. Planos de la Planta……..……...168

CAPÍTULO N°11……..…….……169

11. Conclusiones Finales……..……169

11.1. Recomendaciones Técnicas……..…...169

11.2. Conclusiones del Proyecto……...……..170

11.3. Conclusiones Personales……...……171

Referencia Bibliográfica…….……173

Anexos…….……175

1. Anexo I: Análisis de Alternativas……....175
2. Anexo II: Catálogos, Productos y Equipamiento…….…….183
3. Anexo III: Conductos y Bombas……..195
4. Anexo IV: Planos de la Planta…….……199

Resumen

El presente proyecto tiene como principal objetivo el diseño de una planta de tratamientos de los efluentes líquidos, generados durante el proceso productivo de una industria de curtido de pieles al cromo, de manera de obtener los valores de vuelco permitidos por la normativa vigente aplicable al área de influencia.

La Industria en cuestión, ubicada dentro del Parque Industrial de Pilar en un predio de 4,2 hectáreas, posee un nivel de producción de 6000 cueros diarios, generando a su vez, 2051 m3 de agua residual la cual actualmente es tratada por una empresa externa a la industria. Se describe en el proyecto, el proceso productivo de la curtiembre, incluyendo los insumos y residuos que genera, la caracterización del efluente líquido y la toxicidad que presentan sus principales contaminantes.

Se plantea la segregación en dos líneas de efluentes a tratar independientemente, debido a que las características que presentan las aguas residuales en las diferentes etapas del proceso productivo, hace que resulte conveniente su separación. Por otro lado, se estudian tres alternativas de tratamiento biológico de la línea principal del efluente, optando por la opción más efectiva, luego de analizar aspectos económicos, energéticos, área ocupada y nivel de decontaminación. A su vez, se describe en detalle el proceso de tratamiento, los cálculos realizados, equipos utilizados, conexiones y otras características de relevancia para ambas líneas de efluente. Se propone una alternativa para la recuperación del cromo y su reutilización en el proceso productivo, y una alternativa para los lodos generados, utilizando, además, parte de los residuos sólidos generados por la industria.

Asimismo, se incluye un estudio preliminar de los costos generados en la construcción, operación y mantenimiento de la planta, analizando la factibilidad del proyecto, y el estudio de impacto ambiental, donde se evalúa la incidencia de la planta en los factores más relevantes del medio ambiente receptor. Finalmente se concluye que el proyecto es viable técnica, ambiental y económicamente.

- CAPÍTULO 1 -

Introducción

1.1 Justificación

En todo proceso productivo se generan residuos que pueden ser potencialmente dañinos para el medio ambiente. La industria de curtido de pieles es considerada una de las más contaminantes debido a las características nocivas que presentan sus efluentes. Dichas aguas residuales se caracterizan por contener altas concentraciones de cromo, materia orgánica y sulfuros, entre otros parámetros con valores tóxicos, que pueden afectar los niveles típicos del cuerpo de agua donde son volcados, provocando alteraciones en la flora y la fauna, e incrementando el riesgo de la salud de los habitantes de su entorno.

En el presente proyecto, se formulará el diseño de una planta de tratamiento para los efluentes líquidos generados a partir de los procesos productivos de una determinada Curtiembre, la cual se encuentra ubicada en el Parque Industrial de Pilar, en la Provincia de Buenos Aires, formando parte de la Cuenca del Río Luján.

1.2 Objetivos

El proyecto tiene como objetivo el diseño un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos generados por la industria designada, para lograr disminuir los valores de aquellos parámetros que se encuentren por encima del límite máximo permitido según la normativa aplicable, y puedan ser volcados al cuerpo de agua cercano, generando los menores impactos posibles para la preservación del medio ambiente y la protección de la salud de los ciudadanos.

Por otro lado, se espera realizar un tratamiento y disposición efectivos para los lodos activos generados en la planta, de modo tal de remover y recuperar el cromo que se encuentre presente, disminuyendo de esta forma la probabilidad de ocasionar efectos nocivos en el ecosistema y en la salud.

A su vez, dicho proyecto debe contemplar la aplicación de conceptos de ciencias básicas y ambientales, tecnologías e ingeniería de detalles, economía y gerenciamiento, impactos sociales y demás características que puedan facilitar la planificación y desarrollo del mismo.

1.3 Introducción a la Industria del Cuero

El cuero argentino es un producto con una extensa historia en el país y reconocido a través del mundo. En el sector de curtido y terminado de pieles operan empresas de variado volumen de producción y tecnología, donde las mayores están en mejores condiciones de acceder a los mercados internacionales y el resto, en general, son PYMES. La industria curtidora se concentra en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, existiendo, además, establecimientos en San Luis, Mendoza, La Rioja, Salta, Córdoba, Chaco, Corrientes, Formosa y Entre Ríos.

La industria del cuero se compone principalmente de cuatro sectores: La producción ganadera; los frigoríficos y servicios complementarios; las curtiembres y la industria manufacturera. Al ser el cuero vacuno un subproducto de la industria de la carne, su oferta depende de la faena y en el largo plazo, del stock de ganado bovino.

Las plantas argentinas se ven con la necesidad de asignarle mayor importancia a los temas ambientales, en respuesta a un amplio conjunto de factores internos como los cambios regulatorios en materia ambiental, presiones comunitarias y de clientes, y factores externos tales como demandas de clientes, la reputación de contaminación asociada al rubro o normas ambientales en mercados de exportación, requerimientos de bancos internacionales y de empresas transnacionales mucho más incisivos en el tema que los internos. Asimismo, los avances en materia de gestión ambiental han ocupado un espacio significativo en sus planes de inversión y reconversión productiva. Las acciones que comprenden la gestión ambiental a nivel de la firma pueden clasificarse en uso de tecnologías limpias, optimización de procesos y tratamiento de los residuos que genera.

- CAPÍTULO 2 -

Marco Teórico

2.1 Industria de Curtiduría en Parque Industrial Pilar

La planta productiva de la industria se encuentra ubicada en el Parque Industrial Pilar y se desarrolla en un área total de 23000 m^2 construidos sobre un predio de 4,2 hectáreas, siendo el frente del mismo de 150 metros, con un largo total de 280 metros. Se estima que la producción es de 3000 cueros flor y 3000 cueros descarne diarios.

Actualmente, las aguas residuales generadas en el proceso productivo son tratadas por entes externos a la industria. Se considera que en el mediano plazo la industria destinará 1,2 hectáreas a la construcción de una planta de tratamientos para sus efluentes líquidos.

Parque Industrial Pilar

El Parque Industrial Pilar, es el Parque Industrial más grande de Argentina, con una superficie total de 920 hectáreas. Se encuentra clasificado, según la Ley N° 13.744 de parques industriales por el Articulo N°40, como un parque industrial privado. En la actualidad, lo conforman 200 empresas nacionales y multinacionales, con un ingreso diario de 15.000 vehículos con 22.000 personas aproximadamente.

Fue creado en el año 1976 por una iniciativa privada, y se encuentra ubicado a cinco kilómetros de la ciudad de Pilar. En la Figura 1, se presenta una imagen satelital de la zona, en la cual se resalta el área del Parque Industrial.

Cada hectárea del parque está autorizada a extraer 240.000 litros de agua potable por día, de una napa que existe a 50 m. de profundidad. La fuerza motriz es proporcionada por la

subestación de Edenor, con Central en General Rodríguez con una línea de alta tensión de 132.000 V. La energía es transformada a 33.000 V. y 13.200 V. con una potencia respectiva de 120.000 y 80.000 KW. El Gas Natural se distribuye a una presión de 8 a 22 kg/m2

Figura 1: Mapa satelital del Parque Industrial Pilar. Fuente: Google Maps.

Todo el ámbito del Parque Industrial de Pilar está recorrido por un sistema interno de colectores de desagüe industrial, sobre el que las empresas tienen la obligación de volcar sus efluentes líquidos – convenientemente tratados – para luego ser conducidos por un caño principal hasta su vuelco final. En la Figura 2 se presenta un plano del Parque Industrial en el que se muestra el sistema colector y datos específicos del mismo, tales como los diámetros que presentan en cada tramo.

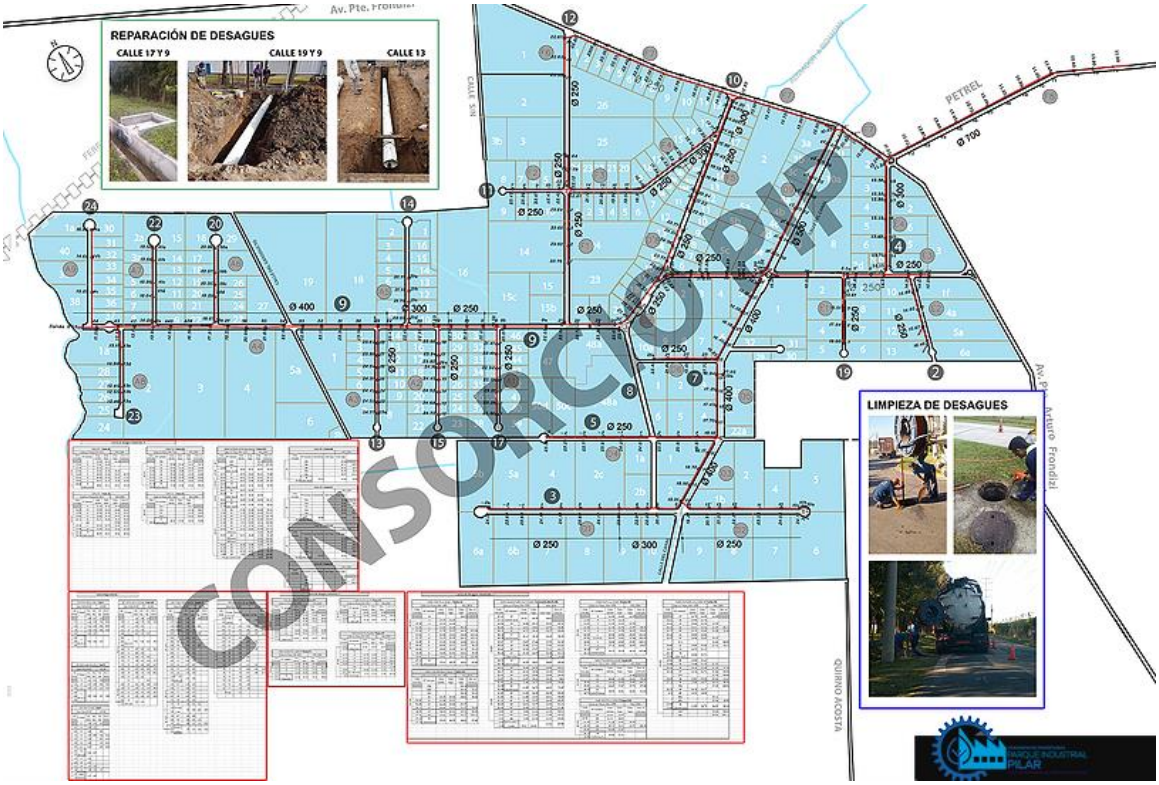


Figura 2: Plano del sistema de colectoras de desagües industriales. Fuente: parqueindustrialpilar.com

El sistema de colectoras de desagües industriales cuenta con 25 km de cañería de hormigón de 25/80 cm. de diámetro. Alrededor del 70% de los efluentes del Parque, son arrojados al Río Luján, mientras que el 30% restante, aproximadamente, se vuelca al arroyo Larena.

El gobierno municipal -en coordinación con el consorcio y la cámara empresaria (Cepip)- son los encargados de tomar muestras del desagüe principal, para controlar y determinar la existencia de sustancias prohibidas dentro del vuelco general del complejo industrial.

Río Luján

El efluente de la industria de curtiduría en cuestión, será arrojado – posterior al tratamiento en la planta de efluentes – a uno de los colectores que tienen como vuelco final el Río Luján.

El Parque Industrial cuenta con cinco vertederos a lo largo del Río Luján. En la Figura 3, se puede observar el origen y las salidas de dichos vertederos.

Figura 3: Origen y salidas de los vertederos del Parque Industrial Pilar al Río Luján. Fuente: pilar.com.ar

El río Luján constituye una de las tres cuencas principales que surcan gran parte de la Región Metropolitana de Buenos Aires. Sus nacientes surgen en la pampa ondulada, en la confluencia de los arroyos Durazno y Los Leones, partido de Suipacha, recorriendo áreas de uso agrícola y ganadero extensivo, con fuentes de contaminación difusa (Alta cuenca), así como tres ciudades intermedias Mercedes, Suipacha y Luján; y bordea el periurbano bonaerense. Luego se une al delta del rio Paraná y desemboca en el estuario del río de La Plata. Además, como afluente final de su recorrido se encuentra el río Reconquista de altísima contaminación.

Constituye, por lo tanto, una cuenca extensa de 3300 km que atraviesa regiones rurales, periurbanas y urbanas. Desde sus nacientes hasta su desembocadura en el río de La Plata,

presenta una longitud de 243,9 km. El régimen de alimentación del río es pluvial -vía capa freática-. Su caudal medio es de 5,4 m3/s y su pendiente media es de 0.19 m/km.

En el río Luján pueden distinguirse un curso superior, uno medio y uno inferior, como se muestra en la Figura 4. Actualmente en la cuenca habitan más de un millón de personas. Cerca del río se ubican ciudades como Suipacha, Mercedes, Luján (en donde el curso ha sido endicado) y Pilar, áreas que utilizan al río y a sus tributarios para descargar efluentes líquidos urbanos e industriales, con disímil grado de tratamiento previo y potencial efecto sobre el ecosistema. La mayor actividad industrial de la cuenca está concentrada en el Parque Industrial Pilar, en la unidad inferior.

Figura 4: Cuenca del Río Luján. Fuente: IGN – SIG 250.

Se trata, por lo tanto, de una cuenca altamente antropizada, donde la acelerada modificación de los usos del suelo y del agua, no siempre debidamente planificada, determina un complejo riesgo de inundaciones y deterioro del recurso hídrico.

2.2 Proceso de curtido de pieles

El cuero es uno de los productos más antiguos del mercado mundial. Fabricar cuero a partir de pieles, antecede en siglos a todo conocimiento científico del hombre en química.

Uno de los mayores avances de la industria del cuero ha sido el descubrimiento y aplicación del proceso de curtido al cromo, utilizado por primera vez a comienzos del siglo XX. A consecuencia de los resultados de este proceso, actualmente aproximadamente el 95% de la producción mundial del cuero para empeines o palas de zapato, se curte pieles al cromo, habiendo reemplazado completamente a los métodos de curtido vegetal para este tipo de cuero.

El proceso productivo de la industria de curtiduría consiste básicamente en la transformación de pieles animales en cuero.

Los cueros inicialmente son tratados con sal por lado carne, una vez beneficiados los animales, con el fin de evitar la putrefacción y lograr una conservación adecuada para los posteriores procesos y usos a los que serán sometidos. Una vez que los cueros son trasladados a la curtiembre, se almacenan en el saladero hasta el momento de procesamiento. Dicho procesamiento consiste principalmente de tres etapas: Ribera, Curtido y Acabado.

Etapa de Ribera

La etapa de Ribera comprende aquellos procesos en los que el cuero es preparado para ser curtido. Es limpiado y acondicionado asegurándose un correcto grado de humedad. Es la etapa que presenta mayor consumo de agua y su efluente presenta un elevado pH. Se compone de una serie de pasos, descriptos a continuación:

- **Salazón**: Es el proceso de la cura con sal. Solamente se realiza cuando se cuenta con cantidades considerables de pieles. Se hace con el fin de extraer la humedad natural de la piel. Para ello, se extienden las pieles escurridas y se esparce sal común o industrial por el lado de la carne. Se deja un tiempo en ambiente seco, ventilado y fresco. Puede durar aproximadamente 15 días.

- **Remojo**: Proceso para rehidratar la piel. Tiene por objeto la eliminación de la sal de manera que la piel seca recupere la morbidez y elasticidad de la piel fresca. En esta operación no sólo se recupera la humedad, sino que también se eliminan cuerpos extraños que no sirven para fabricar cuero, tales como sangre, excretas y suciedad en general. Se emplea grandes volúmenes de agua pura y de preferencia dulce, debido a que la misma reblandece más rápidamente la piel, además de arrastrar consigo tierra, cloruros y materia orgánica, así como la sal y estiércol. Entre los compuestos químicos que se utilizan, se encuentran el hidróxido de sodio, el hipoclorito de sodio, agentes tensoactivos y las preparaciones enzimáticas.
- **Pelambre**: disolución del pelo con cal y sulfuro de sodio. Se inicia inmediatamente después de la operación de remojo, y consiste en la disolución del pelo en las pieles, sin malograr su superficie, también llamada flor. Además, se produce un hinchamiento alcalino en la dermis que, al ser moderado, es indispensable para conseguir un curtido óptimo. En este proceso los insumos agregados son solución de sulfuro de sodio e hidróxido de calcio sólido (cal), adicionados al comienzo de la operación. Dichos insumos destruyen las mucosas de la piel, provocando la caída del pelo. En este proceso se emplea un gran volumen de agua y la descarga de sus efluentes representa el mayor aporte de carga orgánica, presentando un pH que varía entre 11 y 12.
- **Descarnado**: Proceso mecánico en el que las pieles son sometidas a una máquina descarnadora con el objetivo de eliminar la grasa natural y carnaza del tejido conjuntivo. Estos residuos presentan gran porcentaje de humedad.
- **Dividido**: Operación mecánica en la cual las pieles son sometidas a una división transversal de espesor, con la finalidad de igualar el espesor de la piel y utilizar las dos capas de la piel vacuna separadamente: flor y descarne.
- **Desencalado:** Proceso donde se realiza el lavado de la piel para remover la cal y el sulfuro de la piel, para evitar posibles interferencias en las etapas posteriores de curtido. Se emplean considerables volúmenes de agua y se aplican productos neutralizantes, tales como ácidos orgánicos tamponados (sulfúrico, clorhídrico, láctico, fórmico, bórico o mezclas de ellos), sales de amonio, bisulfato de sodio, peróxido de hidrógeno, azúcares y melazas.

- **Desengrasado**: Operación que se efectúa principalmente en la piel de carnero, para eliminar el exceso de grasa natural de las partes cargadas de esta. Produce una descarga líquida que contiene materia orgánica, solventes y agentes tensoactivos. Entre los solventes utilizados se encuentran el queroseno, el monoclorobenceno y el percloroetileno.
- **Purga enzimática**: Proceso que emplea enzimas proteolíticas, como la tripsina, para la limpieza de los poros de la piel a través de la eliminación de restos de queratina de la epidermis, proteínas no estructuradas y grasa natural. Dicha operación confiere una mayor elasticidad y lisura a la piel. Sus efluentes presentan un pH neutro.
- **Piquelado**: Operación preliminar de preparación química de la piel para la penetración del material curtiente en el proceso de curtido. Se realiza en un medio salino y ácido, mediante la utilización principalmente de cloruro de sodio, ácido fórmico y sulfúrico. Este proceso presenta una descarga líquida ácida y de alta salinidad.

Proceso de Curtido al Cromo

El Curtido es un proceso fisicoquímico que consiste en la estabilización de la estructura de colágeno que compone al cuero. Se logra mediante la aislación de las fibras de la piel, de manera que absorban sustancias coloidales, volviéndose insolubles. De este modo, se produce la transformación de la piel a cuero. Son utilizados en esta etapa una gran variedad de productos químicos naturales o sintéticos, siendo el cromo el más relevante, para el caso de curtición al cromo.

El curtido al cromo, requiere menos tiempo que el curtido vegetal; se usa para las pieles livianas y pequeñas y se obtienen cueros resistentes a la humedad. Sólo las sales trivalentes de cromo tienen poder curtiente, como por ejemplo, $CrCl_3$, Cr_2O_3 y $Cr_2(SO_4)_3$.

Generalmente se emplea cromato de sodio, el cual se transforma en dicromato de potasio por acción del ácido sulfúrico y el cloruro de potasio. Dicha sal, luego se reduce a sulfato de cromo (III).

La transformación de la piel en cuero tiene lugar cuando la sal básica de cromo – ya en contacto con la piel – libera el óxido de cromo naciente, dando lugar al cuero, al combinarse con las proteínas.

La piel se impregna con la sal básica de cromo. El óxido de cromo se combina con los grupos aminos (-NH2) y los ácidos (-COOH) de los aminoácidos de las proteínas, formando sales proteicas.

A continuación del curtido, se efectúan procesos mecánicos, que propenden a dar un espesor determinado y homogéneo al cuero – entre otras características – y procesos húmedos que consisten en un reprocesamiento del colágeno ya estabilizado, tendiente a modificar sus propiedades. Dichas operaciones se describen a continuación:

- **Escurrido**: Operación mecánica que quita gran parte de la humedad de la piel curtida producto del primer proceso de curtido (wet blue). El volumen de este efluente no es importante pero tiene potencial contaminante debido al contenido de cromo y pH.
- **Rebajado**: Operación mecánica para uniformar el grosor del cuero. Produce un aserrín que contiene Cr+3 en aquellos cueros que han tenido un curtido mineral. Representa la mayor generación de residuos sólidos con alto contenido de humedad.
- **Lavado**: Las pieles son colocadas en un bombo y se les hace caer agua corriente durante media hora.
- **Neutralizado**: Se emplea una solución de bicarbonato de sodio y en seguida se enjuaga con agua corriente.
- **Recurtido**: Procesos que utilizan sales minerales diferentes al cromo y curtientes sintéticos, como los sintanos.

Proceso de Acabado

El proceso de Acabado comienza una vez recurtido el cuero y comprende las operaciones que le dan al mismo las características finales que requiere para la confección de diferentes artículos. Se compone de una serie de pasos, los cuales se describen a continuación.

- **Teñido:** Para el teñido se emplean tintes con base de anilina. Estos baños presentan temperatura elevada y color.
- **Engrase**: El cuero seco sin grasa es rígido, de color desigual, casi siempre oscuro, poco plegable y frágil. Para devolverle elasticidad a las fibras del cuero es necesario engrasarlo. Se utiliza aceite de pescado sulfonado.
- **Lavado y Desecación**: Limpieza con abundante agua, seguido de y proceso de secado lento, a baja temperatura, con ventilación continua y en la sombra.
- **Acondicionamiento**: Esta etapa involucra varios procesos de terminación de los cueros:
    - *Zurrado o ablandamiento*: Tiene la finalidad de disminuir la rigidez de la piel.
    - *Extendido*: El objeto es el estiramiento y uniformización del cuero.
    - *Escurrido y estirado*: Para evitar la transformación de arrugas y eliminar parte de la humedad.
    - *Batido:* Se realiza con el fin de otorgarle al cuero fortaleza e impermeabilidad.
    - *Esmerilado*: Operación realizada para proporcionarle pastosidad y morbidez a las pieles.
- **Acabado**: Comprenden las últimas etapas del procesamiento del cuero. Son de gran importancia debido a que reflejan la calidad del trabajo realizado en todo el proceso de producción del cuero. En ellas se contempla el pintado y planchado del producto final.

2.3 Generación de residuos y aspectos ambientales

De acuerdo a la materia prima, procesos y producto final, los constituyentes de los desechos de curtiembre se presentan en cantidades variables y significativas. Dentro de dichos desechos se incluyen pelo, pedazos de piel y carne, sangre, estiércol, sales, cromo y sulfuros, entre otros.

Los residuos se presentan en diferentes proporciones en estado gaseoso, líquido y sólidos, siendo los desechos líquidos los más relevantes en cuanto a impacto ambiental, razón por la cual se presenta la necesidad de desarrollar una planta de tratamiento de los mismos en

el presente proyecto. En la Figura 5 se presenta un diagrama simplificado del proceso productivo con sus insumos y productos residuales.

2.3.1 Residuos Líquidos

En términos generales, el efluente de curtiembre se caracteriza por una elevada concentración de componentes orgánicos e inorgánicos en solución, y sólidos en suspensión. Además, presenta un color oscuro y olor desagradable.

Desde el punto de vista de la contaminación, los procesos que más contribuyen a la carga orgánica e inorgánica del efluente total son el remojo, el pelambre y el curtido. Más adelante en este inciso, se analizará con mayor profundidad cada etapa. Un esquema del proceso productivo considerando los residuos se aprecia en la Figura 5.

Principales componentes del efluente.

El efluente de curtiembre ese caracteriza por una contaminación mixta:

- **Contaminación por materiales en suspensión**: pelos parcialmente degradados, cal no disuelta, compuestos químicos insolubles (tales como los hidróxidos metálicos), entre otros.
- **Contaminación por componentes oxidables**: entre los que se encuentran las proteínas, las materias grasas, productos de degradación de proteínas, etc.
- **Contaminación por sustancias tóxicas**: principalmente los sulfuros y el cromo trivalente.

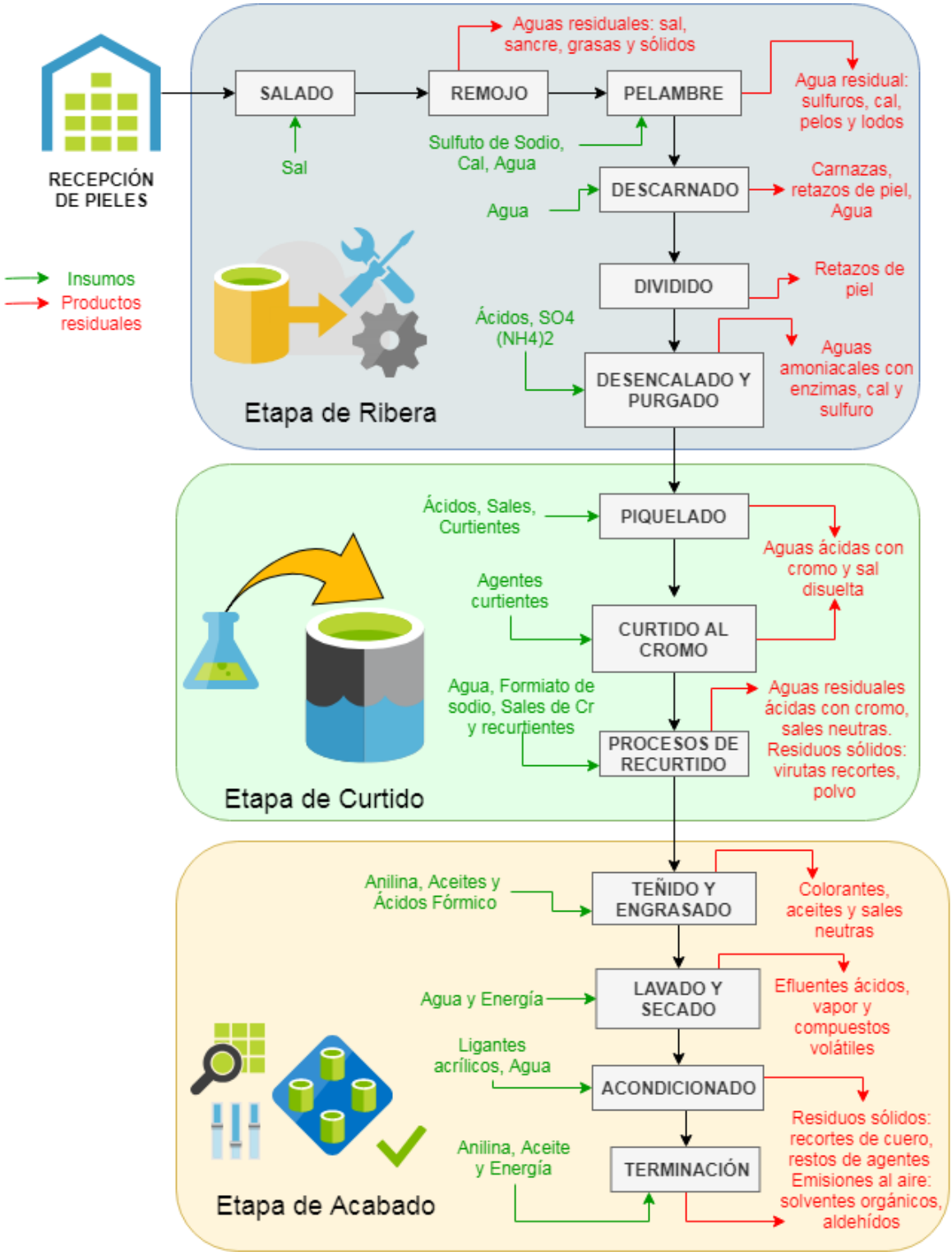


Figura 5: Proceso productivo de la Curtiembre con los insumos y productos residuales. Fuente: Elaboración propia.

Habiendo comparado bibliografía pertinente a la caracterización del efluente, finalmente se optó por elegir la correspondiente a la publicación científica titulada "*Treatment of leather industry wastewater by aerobic biological and Fenton oxidation process"* (MANDAL, 2010) debido a las semejanzas en cuanto al proceso productivo de la Industria de Curtiduría que utiliza la misma para su estudio, el cual se basa en curtición al Cromo. A su vez, dicha bibliografía presenta caracterización de diversos parámetros y dentro de los valores típicos de una industria de tales particularidades, en comparación con otras publicaciones evaluadas, lo cual resulta más efectivo para la realización del presente trabajo. Finalmente, se considera que el efluente líquido producido por la curtiembre posee estimativamente las características detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1: Caracterización de los efluentes líquidos generados por la Curtiembre

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	m3/día	2848
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/l	1933
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg O2/l	975
Aceites y Grasas (AyG)	mg/l	235
Amoníaco NH3 -N	mg/l	118
Fósforo Total	mg/l	12
Sulfuros S2-	mg/l	860
Cloruros Cl-	mg/l	1528
Cromo Total	mg/l	258
Hierro Total	mg/l	1,56
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	1244
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	21,62
pH	upH	8,55
Conductividad	mS/cm	20,042
Temperatura	°C	30

Por otro lado, durante la depuración de los efluentes líquidos en la planta de tratamiento, se produce una gran cantidad de lodo residual, de modo que aparece un nuevo residuo sólido, el cual también puede presentar un efecto si no es tratado correctamente antes de su disposición final. Más adelante se realizará una descripción más detallada de las características, tratamiento, recuperación y disposición de los lodos.

Distribución de la contaminación orgánica e inorgánica.

Los procesos más importantes para convertir una piel en cuero, se efectúan en medios acuosos. Cada etapa del proceso va generando residuos industriales líquidos con distintos grados de contaminación. En la Tabla 2 se pueden observar los niveles aproximados de contaminación, por fase de producción.

Tabla 2: Nivel de contaminación de cada parámetro por fase de producción

Parámetro %	Procesos					Efluente total
	Ribera			Piquelado y Curtición	Restantes	
	Remojo	Pelambre	Desencalado			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	10	70	3,8	1,2	15	100%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	15	56	3	1	25	
Sólidos Suspendidos	5	55	~	~	40	
Salinidad	85	~	~	6	9	
Sulfuro	~	100	~	~	~	
Cromo (III)	~	~	~	100	~	
Toxicidad equivalente	~	~	76	~	24	

Cabe destacar que los procesos de ribera son los responsables del mayor porcentaje de la carga contaminante expresada en términos de DBO y de gran parte de los sólidos suspendidos.

La presencia de sulfuro en el pelambre y de cromo en la curtición, dan una especial toxicidad a las descargas, por lo que deben ser atendidos con especial cuidado.

Dadas las características del proceso de curtido de pieles, para hacer un adecuado análisis de los residuos industriales líquidos generados, es conveniente separar los procesos en tres etapas:

- Etapa de Ribera.
- Piquelado y Curtición.
- Procesos post-curtición.

Si bien el piquelado fue considerado anteriormente dentro de la etapa de ribera, debido a las características que presenta el proceso, es conveniente considerarlo junto con la curtición para analizar la composición de los residuos líquidos.

a. *Características del efluente en la Etapa de Ribera.*

Como se dijo anteriormente, los procesos de ribera – principalmente el remojo y pelambre – son los responsables del 80% de carga contaminante total en términos del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), debido esencialmente a la elevada polución orgánica por la presencia de proteínas y sus productos de degradación, especialmente cuando se emplea un sistema de pelambre. Además contribuyen con el 60% de los sólidos suspendidos y la totalidad del los sulfuros (100%) debido al sistema de pelambre a base de sulfuro.

La fuerte carga de contaminante generada, tiene los siguientes orígenes:

- ✓ *Suciedad adherida a las pieles por su cara exterior*. Compuesta fundamentalmente por tierra y guano adherido al pelo. Se eliminan principalmente en el remojo, generando en el efluente sólidos suspendidos y DBO5.
- ✓ *Componentes constitutivos del cuero que se eliminan durante la ribera*. En general, ésta corresponde a todos los componentes del cuero distintos del colágeno: proteínas no estructuradas y mucoproteínas. Las mismas se encuentran en la sangre y líquido linfático siendo indeseables, desde el punto de vista de la curtición, ya que reaccionan ávidamente con el cromo, haciendo perder al cuero propiedades

importantes, tales como la blandura, flexibilidad y elasticidad. Estos componentes proteicos no estructurados deben eliminarse, de preferencia, en la etapa de remojo. La eliminación de estos componentes por solubilidad en medio acuoso se traduce en un aumento de la DBO5.

- ✓ *Pelo*. Es un componente del cuero en bruto muy estable química y bioquímicamente, compuesto de queratina. Su destrucción en el pelambre se hace posible por la acción de grandes cantidades de sulfuro y cal, lo que da un medio altamente alcalino. Esta destrucción conlleva a un drástico aumento de la DBO5 en el efluente, así como también, un importante aumento de los sólidos suspendidos.
- ✓ *Grasas*. Se encuentran abundantemente como tejido adiposo adherido en el lado carne del cuero. Durante el proceso de pelambre se saponifican parcialmente en el medio alcalino, dando origen a una parte del valor del extracto etéreo del efluente total de la curtiembre.
- ✓ *Sulfuro*. Como se indicó anteriormente, el sulfuro es un producto fundamental en el proceso de pelambre. Se trata de un elemento altamente tóxico en medio acuoso, principalmente debido a su carácter reductor, el cual provoca una drástica disminución en el oxígeno disuelto en los cuerpos de agua y, además, cuando las soluciones acuosas lo contienen, se desprende ácido sulfhídrico gaseoso, que al ser inhalado en determinadas concentraciones, puede llegar a ser mortal. La presencia de sulfuro en el pelambre explica que este proceso por si solo sea responsable del 76% de la toxicidad total del efluente.
- ✓ *Cal*. La cal apagada en polvo es un producto técnico de alta riqueza en hidróxido cálcico, alrededor del 90%. Se usa en la ribera debido, principalmente, a su bajo costo y poca causticidad como álcali. Es muy poco soluble y por lo general se agrega en exceso, quedando en suspensión y contribuyendo a elevar los valores de sólidos suspendidos en los efluentes. Es el único material utilizado por la curtiembre que genera sólidos en suspensión.
- ✓ *Alcalinidad*. En sí misma la alcalinidad del proceso de pelambre, es un elemento de contaminación. Debido a su alto valor de pH, debe ser neutralizada antes de su descarga.

- ✓ *Salinidad*. Se genera principalmente en el remojo y corresponde a sal común proveniente de la etapa de conservación del cuero (cerca del 60%), aportando otras etapas de la ribera, valores menores.
- ✓ *Nitrógeno amoniacal*. Cuyo valor típico para efluente unificado de curtiembre es de 118 mg/litro, también tiene su origen en la operación de ribera, siendo su principal fuente el sulfato de amonio usado durante el desencalado. También es frecuente la presencia de N amoniacal en las fermentaciones anaeróbicas de proteínas. Además, en el pelambre se forma amoníaco debido a la debido a la desamidación de la glutamina y la asparagina presentes en la estructura del colágeno.
- ✓ *Tensoactivos*. Estos productos son ampliamente usados en ribera, como humectantes y agentes de limpieza de los cueros. Los más usados son los alquilfenoles etoxilados. Estos productos dan altos valores de DQO y de toxicidad.

b. Características del Efluente en los Procesos de Piquelado y Curtido.

Las operaciones de piquelado y curtición poseen una influencia relativamente importante en cuanto a nivel de toxicidad y salinidad del efluente.

Si bien el efluente proveniente del proceso de curtido contiene menor cantidad de sustancias orgánicas disueltas y suspendidas que el sector anterior, contribuye en gran medida, debido a la presencia del cromo trivalente, a las concentraciones tóxicas que alcanza el efluente total.

No obstante, dicho proceso no representa la toxicidad mayor dentro del efluente global.

c. Características del Efluente en los Procesos Post-Curtición.

Estos procesos, que incluyen las operaciones en húmedo a partir del estado de wet-blue, lavado, neutralizado, recurtido, teñido y engrase, poseen una importancia relativamente baja dentro de la contaminación del efluente unificado de una curtiembre. Son de una toxicidad despreciable y de baja DBO5 (15%), siendo solamente destacables por su aporte a los sólidos suspendidos, los cuales provienen fundamentalmente de virutas remanentes del proceso de raspado, las que a su vez son fácilmente eliminables de los efluentes.

Es importante destacar que las operaciones de recurtición, tintura y engrase, tienen una contribución sólo del 5% del total de DQO del efluente unificado.

Parámetros de calidad afectados por los contaminantes de curtientes en cuerpos de agua.

Una evaluación sobre el potencial de contaminación de cuerpos de agua causada por efluentes de curtiembres, en función de sus características, muestra lo siguiente:

- **DBO y DQO**: parámetros utilizados para medir la materia orgánica presente en el efluente. Cuando se presentan concentraciones altas en los cuerpos de agua puede ocurrir desoxigenación de los mismos.
- **pH**: parámetro de importancia que indica la intensidad de acidez o alcalinidad del efluente. Las variaciones de pH afectan considerablemente la vida acuática de los cuerpos de agua.
- **Sulfuro**: presenta riesgo de formación del gas sulfuro de hidrógeno, el cual en genera olor desagradable en bajas concentraciones y puede ser muy tóxico en altas concentraciones.
- **Amonio**: tóxico para los peces. Es un nutriente que puede causar proliferación de plantas acuáticas.
- **Nitrógeno-Kjeldahl**, es el total de nitrógeno orgánico y amoniacal. Su presencia en altas concentraciones puede provocar el crecimiento acelerado de plantas acuáticas.
- **Nitratos**: su presencia en altas concentraciones en agua potable es riesgosa para la salud.
- **Fósforo**: no es tóxico pero estimula la proliferación de plantas acuáticas y algas.
- **Cromo**: metal pesado persistente que puede causar problemas a la salud en altas concentraciones.
- **Color**: provenientes de los taninos y tintes, perjudica la actividad fotosintética de las plantas acuáticas y provoca su muerte.
- **Sólidos sedimentables**: ocasionan la formación de bancos de lodos que producen olores desagradables.

Efectos tóxicos de los Contaminantes más Representativos del Efluente de Curtiembre al Cromo

Como se puso en manifiesto en los incisos anteriores, la mayor toxicidad de los residuos industriales líquidos generados en la producción de cuero al cromo, proviene de las concentraciones significativas que presentan los mismos en cuanto a cromo y sulfuros.

A continuación, se describirán los efectos tóxicos que poseen tanto el cromo como los sulfuros, de manera tal de justificar la importancia de llevar a cabo un tratamiento adecuado de los mismos, previo al vuelco de los efluentes a su receptor final.

a. Efectos tóxicos del Cromo

En el proceso de curtido, se genera efluente con contenido de metal pesado cromo trivalente Cr (III), con la posible oxidación a cromo hexavalente Cr(VI). El cromo y sus formas son difícilmente biodegradables, por lo cual son una carga para el ambiente debido a su persistencia, acumulación en el tiempo y efectos impredecibles sobre la vida acuática.

La valencia del cromo es de considerable importancia con respecto a su toxicidad. En general, es casi inerte y constituye un problema mayor. Los compuestos divalentes han sido generalmente considerados como no tóxicos.

En los sistemas acuosos, el cromo se encuentra principalmente en estado de oxidación +3 y/o +6. El cromo trivalente Cr (III) es un elemento esencial potencialmente requerido en cantidades traza para el metabolismo de los mamíferos, ya que interviene en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos. Sin embargo, la exposición a altas concentraciones del mismo puede ser sumamente tóxica.

El cromo hexavalente Cr (VI) es la forma química más tóxica, de manera que el mismo y sus compuestos se encuentran clasificados en el grupo I (carcinógenos confirmados en humanos), por la IARC (International Agency for Research on Cancer), debido a que existen suficientes evidencias como para relacionar la exposición a Cr+6 con el desarrollo de cáncer de pulmón.

b. Efectos tóxicos de los Sulfuros

El sulfuro – y en especial el ácido sulfídrico gaseoso – es muy tóxico, pudiendo causar serios inconvenientes en los cuerpos receptores y en la salud.

Bastan 20-50 ppm en el aire apra causar un malestar agudo que conlleva a sofocación y a muerte por sobreexposición. La toxicidad del ácido sulfhídrico es semejante a la del ácido cianhídrico. A partir de los 50 ppm, en las células receptoras del olfato provoca un efecto narcotizante, y las personas afectadas ya no perciben el hedor. Por encima de las 100 ppm puede causar fatalidad.

2.3.2 Residuos sólidos

En el proceso de curtición, el producto final, representa menos del 50% del producto inicial, por lo tanto, parte importancia del producto inicial queda como residuo sólido. Dichos residuos pueden dividirse en tres grandes grupos: residuos sin curtir, residuos curtidos al cromo y residuos de la planta depuradora de efluentes.

Los residuos sólidos sin curtir y curtidos al cromo se describirán, a continuación, de manera resumida, debido a que el análisis del tratamiento y disposición de dichos residuos no son ejes principales del proyecto en cuestión.

Se realizará mayor hincapié en los residuos sólidos de la planta depuradora de efluentes, para los cuales se llevará a cabo un análisis y propuesta de tratamiento, recuperación y disposición final de los mismos, más adelante en el informe.

a. Residuos sin curtir.

En esta categoría se encuentran los recortes de piel en bruto, pelo, carnaza, recortes de descarne, trozos de tripa y excrementos.

- **Recortes de piel en bruto**: Los restos de piel que se desechan contienen carnazas, grasas, sangre y excrementos, que aportan la carga orgánica en los residuos de curtiembre.

- **Pelo:** es una estructura eminentemente proteica, de bajo contenido de grasa y de una relación carbono-nitrógeno muy baja. Es de gran utilidad como aporte nitrogenado en procesos de compostaje, ya que su contenido de nitrógeno es alto.
- **Carnaza:** proceden de las máquinas de descarnar. Los principales componentes de las carnazas son agua, proteínas, grasas y sales minerales. Según la procedencia de los cueros pueden variar considerablemente las proporciones de estos componentes, lo cual varía, a su vez, los rendimientos de cada uno de los productos a obtener. Por su fuerte alcalinidad, con pH alrededor de 12, se conservan bastante y es difícil su putrefacción.
- **Recortes de descarne y trozos de tripa:** entre los componentes que poseen, destaca el porcentaje del agua, el cual es de aproximadamente 75%, en menor medida posee sustancia piel (aproximadamente 21%) y el resto son grasas y sales minerales.

b. Residuos curtidos al cromo.

En esta categoría se encuentran las rebajaduras al cromo y otros residuos de menor significancia.

- **Rebajaduras al cromo**: Los cueros necesitan ser igualados a un grosor determinado, dando lugar a virutas de cuero estrechas y alargadas, las cuales se recogen y trasladan por diversos medios a unos depósitos o contenedores.
- **Otros**: se incluyen polvos de esmerilado, recortes de cuero con o sin acabado, desperdicios de las fábricas y restos de artículos de cueros desechados por su uso.

c. Lodos de la planta depuradora.

Los lodos se producen en las plantas depuradoras de efluentes de curtiembre, en las mismas, se transfiere parte de la contaminación de las aguas residuales, a los restos sólidos o barros generados.

En la Tabla 3, a continuación, se presentan los parámetros más importantes que contienen los lodos obtenidos de las plantas depuradoras de efluentes de curtiembres al cromo.

Tabla 3: Composición de lodos de planta depuradora de curtiembre al cromo

Parámetro	Valor	Unidad
Materia Seca a 105°C	38,3	%
pH solución acuosa	9,1	upH
Residuo a 550°C	61	Los valores fueron calculados sobre materia seca y en %
Residuo volátil (materia orgánica)	39	
Carbón orgánico	21	
Nitrógeno total	2,1	
Anhídrico fosfórico (P2O5)	0,42	
Óxido de Potasio (K2O)	0,01	
Carbonato de Calcio	41,4	
Cromo hexavalente	Negativo	
Cromo trivalente (extraído con ácido clorhídrico 6N)	2,23	

Fuente: Curtiembre Santa Croce Sull Arno, Italia.

La cantidad de agua que poseen los lodos depende de la forma de filtrado y secado, estando entre el 75 y 95% aproximadamente.

En general, los lodos de plantas depuradoras se pueden clasificar en orgánicos, inorgánicos y mixtos, siendo estos últimos los provenientes de una planta de tratamiento de efluentes de curtiembres al cromo.

Los productos orgánicos pueden provenir de la piel o de los materiales empleados en la fabricación del cuero. Como término medio, la cantidad es de 20-25 gramos de materia proteica y de 10-20 gramos de materia grasa, por cada kilo de piel fresca trabajada, proveniente de la propia piel.

Los productos inorgánicos que más abundan son las sales insolubles de calcio, las cuales se encuentran en una relación de 35-45 gramos por kilogramo de piel fresca. El cromo se encuentra en forma de hidróxido, pudiendo haber también otros metales pesados. Puede presentar también productos inorgánicos procedentes de la depuración, tales como compuestos de hierro, calcio, aluminio y otros electrolitos. La cantidad de los mismos bajan considerablemente si se ha realizado depuración biológica.

2.3.3 Otros residuos generados

La descomposición de la materia orgánica, así como la emisión de sulfuro de las aguas residuales causan un característico mal olor.

Las emisiones de sulfuro provenientes del pelambre y de las aguas residuales; las emisiones de amoníaco y vapores de solventes provenientes del desencalado y de la etapa de acabado; y las carnazas y grasas del descarne, son fuentes importantes de producción de olores.

En general, los olores producidos en las curtiembres tienen su origen en inadecuadas prácticas productivas y falta de una adecuada política de mantención e higiene de las instalaciones.

Respecto al ruido, sólo existen problemas o molestias al interior de las instalaciones, generado básicamente por equipos y máquinas, lo cual es completamente mitigable para los trabajadores con adecuados elementos de protección.

2.4 Normativa ambiental

Resulta necesario conocer los valores máximos permitidos de volcado para poder dimensionar el sistema de tratamiento de manera tal que, al depurar el efluente, se cumpla con los parámetros establecidos por la normativa.

A continuación, se detallan los límites admisibles para vertido de efluentes líquidos residuales y/o industriales en conductos pluviales o cuerpo de agua superficial (Tabla 4), los cuales fueron fijados en la Resolución N° 336/03 relativa a las Normas para el vertido de efluentes líquidos (ADA).

Tabla 4: Parámetros de calidad de las descargas: Límites admisibles a cuerpo de agua superficial

Parámetro	Unidad	Límite Permitido
Temperatura	°C	< 45
pH	upH	6,5 - 10
Sólidos sedimentables en 10 minutos	ml/l	Ausente
Sólidos sedimentables en 2 horas	ml/l	< 1
Sustancias Solubles en Éter Etílico	mg/l	< 50
Nitrógeno Total	mg/l	< 35
Nitrógeno Orgánico	mg/l	< 10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	< 25
Cloro Libre	mg/l	< 0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	< 50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	< 250
Sulfatos	mg/l	N.E
Sulfuros	mg/l	< 1
Hierro Soluble	mg/l	< 2
Cromo Total	mg/l	< 2
Cromo Hexavalente	mg/l	<0,2
Fósforo Total	mg/l	< 1

La indicación de “Ausente” en la Tabla 4 es equivalente a menor que el límite de detección de la técnica analítica indicada para tal parámetro. La sigla N.E. indica que por el momento no se establece límites permisibles.

Una vez tratados los desechos líquidos, los mismos serán conducidos a través del sistema de colectora de efluentes industriales del Parque Industrial de Pilar hacia el Río Luján, donde se volcarán finalmente.

La Tabla 4 presentada anteriormente es aplicable para cuerpos de agua dulce de la Provincia de Buenos Aires, entrando en esta categoría el Río Luján, destino final de vuelco del efluente en cuestión a tratar.

2.5 Tratamiento y disposición final del efluente líquido

Comparando los valores de los parámetros de caracterización del efluente crudo producido por la curtiembre con los establecidos por la Resolución (Tabla 5), se puede concluir que resulta esencial el tratamiento de los desechos líquidos previo a ser volcados finalmente al cuerpo de agua, de manera de asegurar una correcta disposición en el ambiente, disminuyendo el riesgo de contaminación química y orgánica que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna.

Tabla 5: Comparación de los valores entre el efluente y la normativa aplicable

Parámetro	Unidad	Valor	Normativa
Caudal	m3/día	2848	*
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/l	1933	<250
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg O2/l	975	<50
Aceites y Grasas (AyG)	mg/l	235	<50
Amoníaco NH3 -N	mg/l	118	<25
Fósforo Total	mg/l	12	<1
Sulfuros S2-	mg/l	860	<1
Cloruros Cl-	mg/l	1528	<0,5
Cromo Total	mg/l	258	<2
Hierro Total	mg/l	1,56	<2
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	1244	<1
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	21,62	*
pH	upH	8,55	6,5 - 10
Conductividad	mS/cm	20,042	*
Temperatura	°C	30	<45

En los próximos capítulos, se realizará una propuesta de tratamiento de dichos efluentes, teniendo en cuenta las características del mismo, la producción de la industria, el lugar donde se encontrará ubicado, la disposición del terreno que se posee, el entorno social y ambiental en el que se localiza y las características del cuerpo receptor con sus respectivos valores máximos permitidos de los parámetros, fijados por la normativa aplicable.

A su vez se presentará la memoria descriptiva y cálculos realizados para el dimensionamiento y diseño de la planta, la cotización y planos de la misma y una evaluación de los potenciales impactos ambientales que conllevarán la realización del proyecto.

2.6 Generación, tratamiento y disposición final de barros

Los desechos líquidos a tratar poseen concentraciones de cromo que sobrepasan el límite máximo permitido por la normativa, debido a que el mismo es utilizado en varias etapas del proceso industrial de las curtiembres. Mayormente se encuentra cromo trivalente (Cr3+) y en menor medida cromo hexavalente (Cr6+). Los efectos tóxicos del Cr3+ son menores a los del Cr6+, conocido cancerígeno, ya que éste puede ocasionar manifestaciones agudas y crónicas en las personas que hayan estado en contacto directo.

En cuanto a los efectos ambientales, en los ecosistemas acuáticos, el Cr6+ se encuentra principalmente en forma soluble, suficientemente estable como para ser transportado por el agua. Sin embargo, éste finalmente se convierte en Cr3+ mediante la reducción de especies tales como las sustancias orgánicas, el ácido sulfhídrico, el azufre, el sulfuro de hierro, el amonio y el nitrito. Por lo general, esa forma trivalente no migra de manera significativa sino que precipita rápidamente y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo. Además se ha comprobado que se acumulan en muchas especies acuáticas,

Como se mencionó anteriormente, durante el tratamiento de los efluentes se generan lodos activos, los cuales suelen presentar altos niveles de Cromo, entre otros contaminantes de importancia (Tabla 3). El Cr3+ puede ser oxidado a la forma hexavalente a un pH que varía entre 5.5 y 6, dicho proceso, además, es favorecido en presencia de óxido de manganeso. Esta cualidad hace que, en los lodos activos que se encuentran en contacto con la atmósfera, haya una mayor susceptibilidad a la formación de Cr6+, provocando un aumento en la nocividad para el medio ambiente y la salud humana.

Además, al presentar contaminantes y propiedades potencialmente nocivas, es considerado un residuo industrial peligroso, por lo que la deposición final en el ambiente, aparte de generar un impacto ambiental, genera un gasto económico importante. El costo de disposición del mismo, se incrementa al aumentar el volumen del mismo, por lo que es

conveniente reducir y compactar su tamaño, de manera de eliminar la mayor cantidad de humedad posible.

Por las razones anteriormente presentadas, resulta conveniente realizar un tratamiento de los lodos, de forma tal de remover y recuperar en mayor medida el cromo presente, como así también generar la menor cantidad de volumen a disponer, y con la mínima nocividad posible.

Por tales motivos, en conjunto con el dimensionamiento y diseño de la planta de tratamiento de los efluentes líquidos generados por la industria, se contemplará en el proyecto, un proceso de tratamiento para los residuos sólidos – o lodos activos – producidos durante dicho tratamiento.

- CAPÍTULO 3 -

Descripción del Tratamiento y Análisis de las Alternativas

A partir de la caracterización del efluente líquido de la curtiembre presentada, se analizaron las posibles alternativas para el tratamiento del mismo, de modo tal de disminuir el valor de los parámetros a valores que se encuentren por debajo del límite de vuelco a cuerpo de agua, establecido por la normativa vigente.

Se tuvieron en cuenta a la hora de elegir los procesos y unidades, la composición del efluente, el terreno destinado a la planta y sus características, el tipo de suelo que presenta y los datos meteorológicos propios de la zona.

A su vez, se realizó un análisis bibliográfico de los temas en cuestión, para desarrollar las mejores y más eficientes alternativas que se utilizan actualmente a nivel mundial para el tratamiento de los parámetros característicos de la industria de curtiduría de pieles.

A continuación, se presenta el diseño de dos alternativas para el tratamiento del efluente crudo generado por el proceso industrial, con sus respectivos estudios de eficiencia y condiciones económicas. Los mismos fueron llevados a cabo con el objeto de desarrollar la mejor alternativa posible.

3.1 Descripción del tratamiento

Previamente a tratar el efluente, se realizará una segregación del mismo en el proceso de remojo, perteneciente a la etapa de ribera, debido a que presenta el 85% de la salinidad total. Dado que la concentración de cloruros es demasiado alta para seguir el proceso normal de tratamiento, se realizará una línea de tratamiento paralela.

Por otro lado, el resto de los procesos concluirán en un mismo conducto de circulación del efluente, a partir del cual se centrará el análisis de las alternativas para su tratamiento.

Ambas alternativas comienzan con un igual pre-tratamiento del efluente. El mismo está formado por un sistema de desbaste – con el que se busca eliminar sólidos de diferentes tamaños que se encuentren en suspensión – y un tanque de homogeneización, con el objetivo de ajustar parámetros tales como caudal, pH y temperatura.

Se continúa con un tratamiento primario físico-químico – común a las dos alternativas – cuya función principal es disminuir parámetros que puedan afectar al tratamiento biológico posterior y no puedan ser degradados en el mismo.

Para el tratamiento secundario, se realizaron preliminarmente tres alternativas, presentadas a continuación:

1. Reactor Anaeróbico UASB + Lecho Percolador
2. Laguna Aireada Mecánicamente
3. Proceso de Lodos Activados

Por último, se planteó el tratamiento para los lodos activos generados y su disposición final en el ambiente, con el objetivo, por un lado, de remover y recuperar el Cromo (III) que se encuentre presente, y por otro, de reutilizar la mayor cantidad de los residuos generados, a fin de reducir los volúmenes a disponer. Para ello, se planteó un proceso de transformación química a sal de cromo, para el lodo con alto contenido del mismo; y un proceso de compostaje, para los lodos generados en algunas etapas del tratamiento.

3.2 Segregación del Efluente en el Proceso de Remojo

Al realizar un análisis general del efluente y las posibilidades de tratamiento del mismo, se constató que la concentración de cloruros que presenta es muy alta, motivo por el cual es necesario disminuir su nivel. Al leer y comparar bibliografía sobre las distintas formas de tratarlo, se llegó a la conclusión que el método más efectivo es realizando un proceso de ósmosis inversa.

Sin embargo, debido a que las aguas residuales provenientes del proceso productivo de la curtiembre presentan valores altos de otros parámetros, no resulta factible realizar ósmosis inversa para el mismo. De igual manera, al querer tratar el efluente por un proceso biológico para disminuir ciertos contaminantes, la concentración de cloruros resulta ser un limitante, ya que por la alta concentración que presenta, provocaría efectos tóxicos en los microorganismos necesarios para la depuración.

A modo de solución, se estudió con mayor profundidad la proveniencia de los cloruros en el efluente, resultando ser el proceso de remojo el responsable de gran parte de la concentración del mismo - 85% del total -. Por tales motivos, se decidió segregar y tratar apartadamente el efluente generado por dicho proceso, de manera que no interfiera en el tratamiento del efluente principal.

Anteriormente, en la Tabla 2, se presentó el nivel de contaminación de cada parámetro por fase de producción. A partir de dicha tabla, tomando los porcentajes de los distintos parámetros que se generan en el proceso de remojo, se puede realizar una caracterización del efluente que se produce en el mismo.

En la Tabla 6 se presenta la composición del efluente para la línea segregada en el proceso de remojo, y los valores finales de los parámetros afectados de la línea central de tratamiento, teniendo en cuenta dicha segregación.

Tabla 6: Caracterización del efluente del proceso de remojo y de la línea central

Parámetro	Unidad	Valor total	% Remojo	Valor línea remojo	Valor línea principal
Cloruros (Cl-)	mg/l	1528	85	1298,8	229,2
DBO5	mgO2/l	975	10	97,5	877,5
DQO	mgO2/l	1933	15	289,95	1643,05
SST	mg/l	1244	5	62,2	1181,8

A su vez, se realizó un análisis del caudal que es destinado para la línea secundaria segregada y el caudal de la línea principal. Para obtener dichos valores, se utilizó el consumo diario promedio de agua que tiene cada proceso, para una curtiembre determinada. Los resultados obtenidos del cálculo se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Valor de caudal para cada proceso y porcentaje de utilización de agua

Proceso	Caudal (m3/día)	Porcentaje (%)
Remojo	797	28
Pelambre	530	19
Descarne	390	14
Curtido	706	25
Teñido	424	15
Caudal Total	2848	100
Caudal Segregado	**797**	**28**
Caudal Línea Principal	**2051**	**72**

Como se observa en la tabla, el caudal utilizado para la línea segregada en el proceso de remojo es de 797 m3/día, mientras que el caudal total para la línea principal de tratamiento es de 2051. Conociendo estos valores, se realizarán los cálculos con el caudal correspondiente en cada caso.

Una vez obtenidos los valores con los que inicialmente cuenta el efluente segregado, se diseñó el tratamiento del mismo, de modo tal de adecuar los parámetros a valores que estén por debajo de los valores máximos permitidos por la normativa vigente.

Para ello, en primer lugar, el efluente pasa por una reja en la que se eliminan los sólidos suspendidos que puedan estar presentes en el efluente, para luego ingresar a un proceso de ultrafiltración de modo de alcanzar una calidad del efluente tal que sea más eficiente su paso por el último proceso de tratamiento, la ósmosis inversa, con el cual se elimina la mayor cantidad de contaminante, quedando el agua con valores permitidos para vuelco al cuerpo receptor.

3.3 Diagrama general del tratamiento de efluentes

A modo de resumen, se presenta en la Figura 6 un diagrama general sobre el tratamiento de los efluentes de la curtiembre. La misma consta de dos líneas de tratamiento:

- ✓ Por un lado la *línea principal (L1),* la cual proviene de cada una de las etapas del proceso – ribera, curtido y acabado - donde el efluente producido en cada una de ellas se mezcla para generar un único efluente, con las características anteriormente indicadas.
- ✓ Por otro, la *línea segregada (L2)*, proveniente del efluente generado en el proceso de remojo, dentro de la etapa de ribera, el cual tiene un tratamiento diferente al de la línea principal.

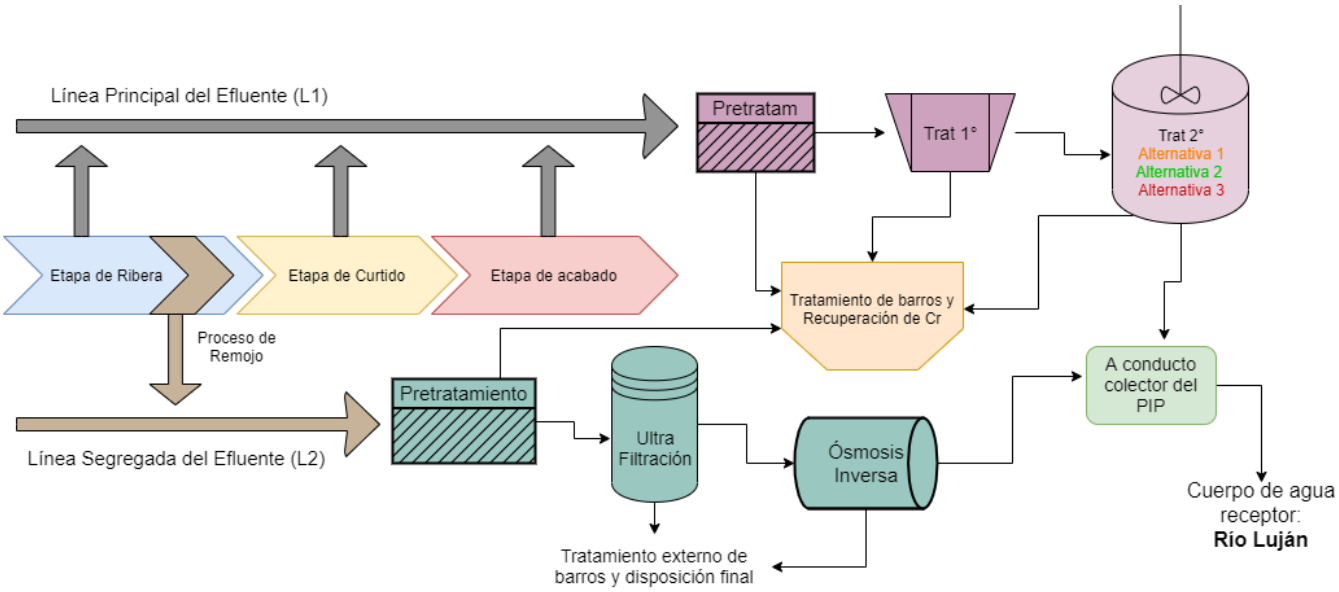


Figura 6: Diagrama general del tratamiento de efluentes. Fuente: Elaboración propia.

En los próximos incisos se va a explicar en profundidad cómo se compone cada parte del tratamiento de los efluentes, contemplando las dos alternativas de tratamiento secundario de la línea principal.

3.4 Descripción de las alternativas de tratamiento para la Línea Principal (L1) del Efluente

A continuación, se describirán las alternativas de tratamiento biológico propuestas para la línea principal del efluente, detallando el proceso en cuestión, la eficiencia que presentan en cuanto a remoción de materia orgánica, la generación de lodos, el gasto energético y los costos, de manera tal de poder llevar a cabo de forma criteriosa un análisis y elección de la mejor opción.

3.4.1 Alternativa 1: Laguna Aireada Mecánicamente

La presente alternativa propone la depuración biológica del efluente mediante una laguna aireada mecánicamente, seguida de un sedimentador secundario donde se separa el agua clarificada de los barros generados (Figura 7).

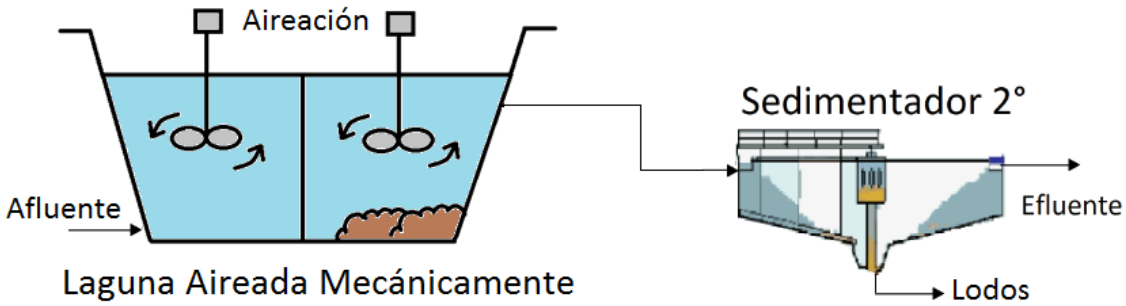


Figura 7: Depuración por Laguna Aireada Mecánicamente. Fuente: Elaboración propia.

Una laguna aireada consiste en un gran reactor aerobio agitado, similar a una laguna facultativa, pero con la diferencia de que se mejora la oxigenación natural. Mediante aireadores mecánicos se suministra oxígeno y se mantiene a los organismos aerobios en suspensión y mezclados con el agua para alcanzar una elevada tasa de degradación orgánica. Ya que se mejora la oxigenación natural, las lagunas aireadas pueden ser más profundas, reduciendo la demanda de superficie, y se adaptan mejor a climas más fríos. El efluente puede servir para recarga de acuíferos, pero el lodo generado demanda un tratamiento adicional o un correcto vertido o destino final. , ya no se depende dela fotosíntesis, pueden funcionar adecuadamente en latitudes con pocas horas de luz solar.

Se considera la instalación de aireadores superficiales de eje vertical para el suministro de aire y mezcla, de manera de suplantar la aireación natural provista por algas y demás organismos en las lagunas de estabilización. La selección de este equipo de aireación se realiza en base a la facilidad con que pueden colocarse los aireadores superficiales en una laguna, favoreciendo su operación y facilitando las tareas de mantenimiento en caso de requerirlo, teniendo en cuenta la irregularidad que puede llegar a presentar el terreno. La aireación mecánica mejora la eficiencia del tratamiento y reduce el tiempo de retención hidráulica (TRH) necesario para la degradación aerobia de la materia orgánica.

Además, debe tenerse presente la sensibilidad de las lagunas frente a las condiciones ambientales. Por este motivo, a la hora de diseñar el sistema, se considera la peor condición posible, determinada por la estación invernal, ya que la actividad bacteriana a cargo de la degradación de la materia orgánica disminuye con la temperatura.

Se plantea un tratamiento mediante el empleo de una laguna aerobia de mezcla completa. En dichas lagunas, todos los sólidos sedimentables se mantienen en suspensión. Este tipo de laguna provee una relación potencia/volumen alto. La edad de lodos es igual al tiempo de retención hidráulico y la remoción de DBO varía de 50 a 60% con la gran desventaja de transportar muchos sólidos en el efluente. Funcionan básicamente como un sistema de lodos activados sin reciclaje de lodo.

3.4.2 Alternativa 2: Reactor UASB + Lecho Percolador

La segunda alternativa (Figura 8) plantea la depuración de la materia orgánica a partir de un sistema de cuatro reactores anaeróbicos UASB, seguidos por un proceso aeróbico de lecho percolador para terminar de afinar la depuración, y finalmente un sedimentador secundario con el que se logran separan los barros generados del agua clarificada. Parte del barro vuelve al lecho percoladro, mientras que el otro porcentaje es purgado.

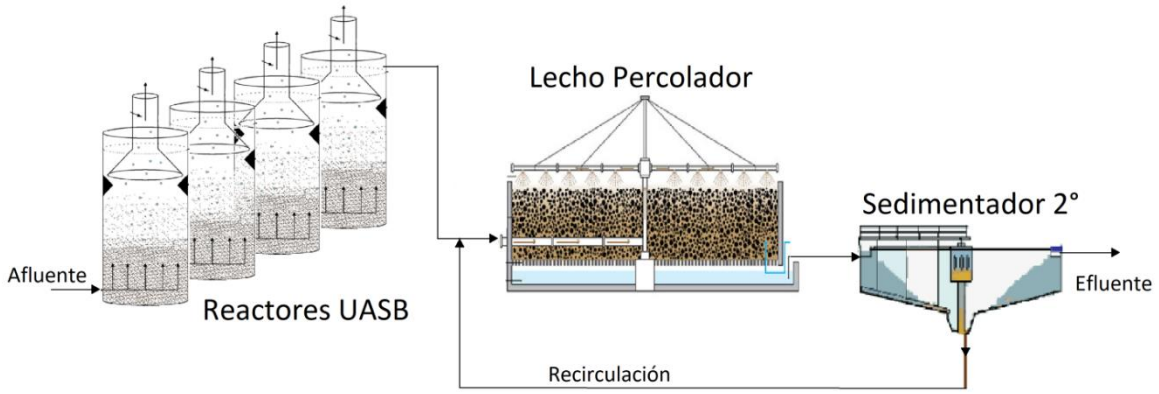


Figura 8: Diagrama de la alternativa 2 para el proceso de depuración biológica. Fuente: elaboración propia

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles. Más allá de ser muy eficientes los tratamientos anaeróbicos para remover altas cargas orgánicas, en la mayoría de los casos se recomienda que luego exista un post tratamiento aeróbico para remover compuestos orgánicos e inorgánicos, material suspendido y nutrientes. Las principales ventajas de realizar un tratamiento mixto son las siguientes:

- Reducida generación de lodo excedente
- Reducido consumo de energía
- Reducido consumo de nutrientes
- Reducida área ocupada
- Reducido costo operacional
- Generación de biogás energético
- Reducción de posibilidad de ocurrir el “Bulcking Sludge” (bacterias filamentosas)
- Mayor flexibilidad operacional

Reactor UASB

Los reactores UASB (anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos), son capaces de tratar un efluente que posee elevada carga orgánica con un gran porcentaje de remoción, sin requerir complejas tareas de operación y mantenimiento. Tiene como objetivo degradar

los contaminantes presentes en el agua residual en ausencia de oxígeno. La tecnología de este reactor permite separar internamente el efluente tratado, la biomasa y el biogás.

El Reactor UASB (Figura 9) se conforma de dos secciones principales: el manto de lodos y el separadorGLS (Gas, Líquido y Sólido). El afluente ingresa desde el fondo del tanque y atraviesa el manto de lodos constituido por microorganismos que llevan a cabo la degradación de los contaminantes orgánicos. En la parte superior se encuentra el separador GLS de tres fases que tiene la función de colectar el biogás producido por las bacterias. De manera simultánea, promueve la sedimentación de los sólidos. Finalmente, el agua tratada sale por la parte superior del reactor. Los lodos en exceso generados son purgados por el fondo del reactor.

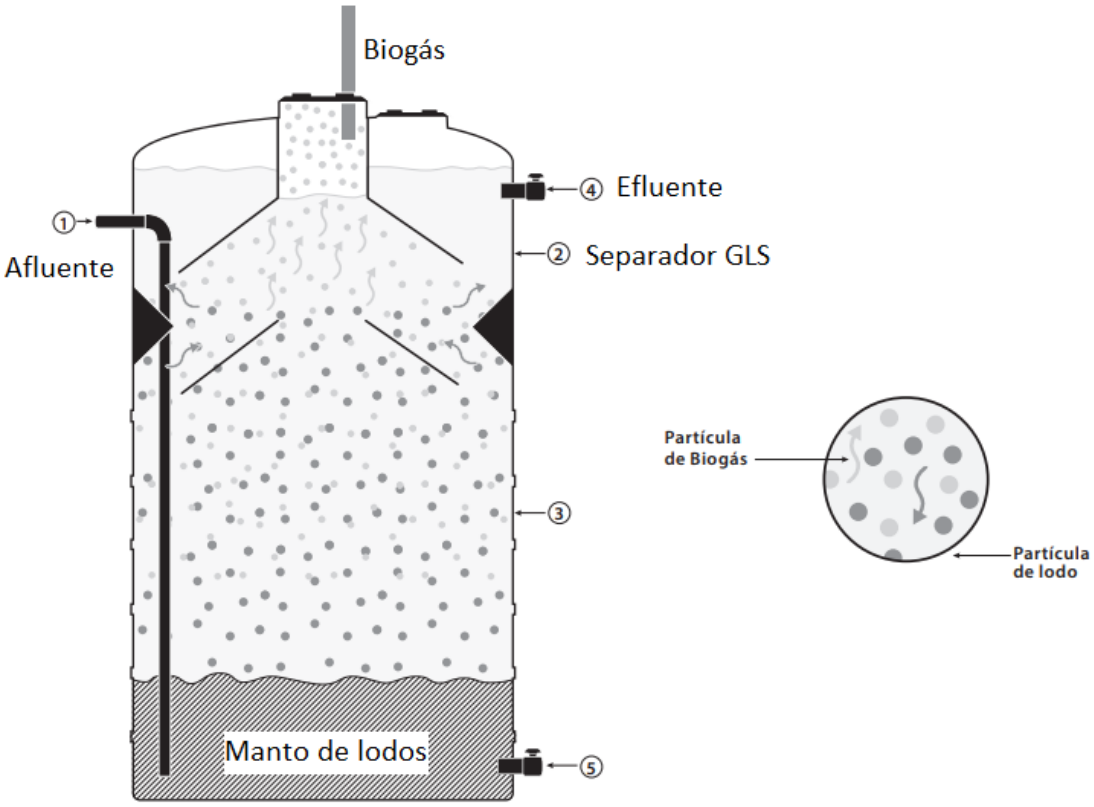


Figura 9: Componentes de un reactor UASB. Fuente: Catálogo Rotoplax.

Los gránulos consisten en bacterias hidrolíticas, acidógeno/acetógenos y metanógenos. Gránulos degradantes de carbohidratos muestran estructura en capas con una capa superficial de hidrolítica/fermentativa (agentes acidógenos). Una capa intermedia

comprendida de colonias syntrophic y una interior con metanógenos acetogénicas. Las bacterias se forman naturalmente en flóculos y gránulos sin necesidad de un soporte en el que se desarrolle el crecimiento bacteriano. Es destacable que estos gránulos resisten el lavado natural de la operación del reactor, haciendo que la retención del lodo logre altas tasas de remoción de la carga orgánica en el efluente.

El separador de fases (efluente, lodo y biogás) está compuesto por deflectores que impiden el ascenso del lodo, una campana desarrollada para captar el biogás y vertederos en el perímetro que permiten la salida del efluente ya tratado.

Los procesos anaeróbicos empleando reactores UASB presentan varias ventajas respecto a los procesos aeróbicosconvencionales. En general, un reactor UASB presenta las siguientes características:

- Sistema compacto, con bajos requerimientos de espacio
- Bajos costes de construcción y operación
- Baja producción de lodos
- Bajo consumo energético (solamente para el bombeo del influente, si es necesario), tiempos de retención hidráulico y nutrientes
- Buenas eficacias de eliminación de materia orgánica, entre el 65 y 75%
- El lodo en exceso presenta una concentración elevada y buenas características de deshidratación
- Producción de biogás recuperable

Aunque el reactor UASB presenta varias ventajas, todavía existen algunas desventajas y limitaciones:

- Tiempo necesario para la puesta en marcha del sistema elevado
- Necesidad de una etapa de post-tratamiento

Debido a que el caudal máximo para que el sistema conserve su eficiencia es de 500m3/día, se optó por colocar cuatro reactores UASB idénticos en paralelo, para poder tratar la totalidad del caudal de diseño continuamente.

Lecho Percolador

Los lechos percoladores permiten que la materia orgánica de las aguas residuales sea adsorbida por una población de microorganismos (aeróbico, anaeróbico, bacterias facultativas; hongos; algas; y protozoos) unidos a un medio soporte como una película biológica o Biofilm (aproximadamente 0,1 a 0,2 mm de espesor). El oxígeno para la degradación de la materia orgánica, es provisto por un sistema natural o con ventilación de bajo costo.

Dados los muy bajos tiempos de residencia del líquido en el sistema (5-15 min) la materia orgánica debe ser rápidamente absorbida por el biofilm mediante el contacto superficial entre el efluente y ella. Por lo que son altamente eficientes para degradar materia orgánica fácilmente biodegradable.

La base del funcionamiento eficiente es una adecuada distribución de efluente sobre el biofilm y una rápida transferencia de oxígeno entre el aire y la corriente liquida (en realidad el reciclo) y de esta al biofilm (Figura 10).

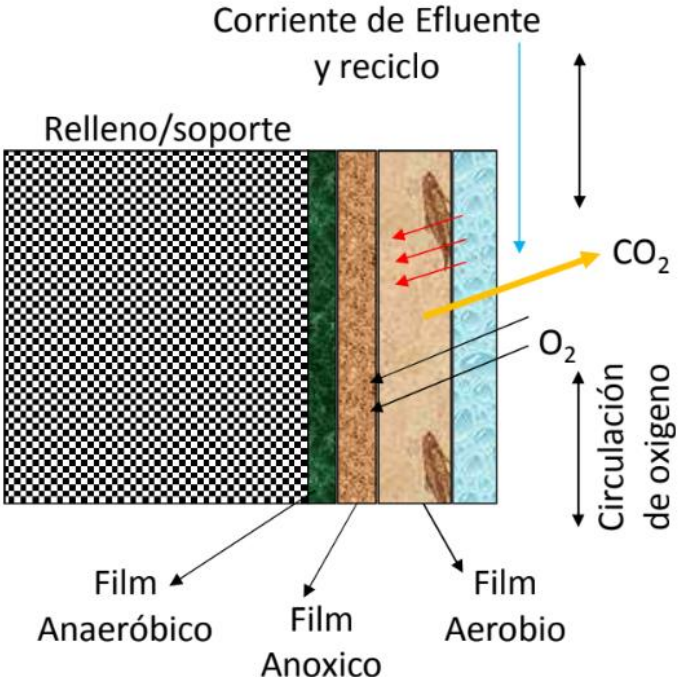


Figura 10: Componentes y Funcionamiento del Biofilm de Lecho Percolador. Fuente: Clase biomasa adherida, UNSAM 2017.

Después de un período de “acostumbramiento” se produce el crecimiento sostenido de micro organismos sobre la interface relleno/aire, aprovechando la característica de generación de PEC (polímeros extracelulares) de alta capacidad adhesiva.

El engrosamiento de la capa de biomasa conlleva a un déficit en la transferencia de oxigeno hacia las capas interiores con lo cual aparecen interfaces anoxias y finalmente anaeróbicas en la zona más profunda del biofilm. A medida que la película biológica sigue creciendo, los microorganismos cerca la superficie (Anaeróbicos) pierde su capacidad de aferrarse al medio soporte, y una porción de la capa de limo se cae del filtro.

Este proceso es conocido como desprendimiento. Los sólidos desprendidos son recogidos por el sistema de desagüe inferior y transportados a un clarificador para la eliminación de las aguas residuales

A pesar de estas condiciones, el mecanismo de remoción principal es aeróbico y algunos autores indican que la presencia de capas anoxias/anaeróbicas promueve la digestión del lodo y por ende una menor producción de lodos en términos de masa seca.

La velocidad de crecimiento difiere en función de la disponibilidad de comida y de su degradación. En cierto punto se alcanza un espesor de film crítico, esta condición depende de muchos factores, principalmente:

- La tasa de reciclo
- La velocidad de rotación del sistema de distribución
- Disponibilidad de nutrientes (N,P, micro nutrientes)
- Temperatura

3.4.3 Alternativa 3: Lodos Activados

Por último, en la Alternativa 3 (Figura 11) se propone la depuración de materia orgánica a través de un proceso de lodos activados con un reactor de mezcla completa al que se le proporciona aire para facilitar la constante mezcla y mantener oxigenado el sistema, seguido de un sedimentador secundario, en donde se separa el efluente clarificado de los

lodos. Parte del lodo separado vuelve al reactor para mantener la concentración de microorganismos, y parte se purga.

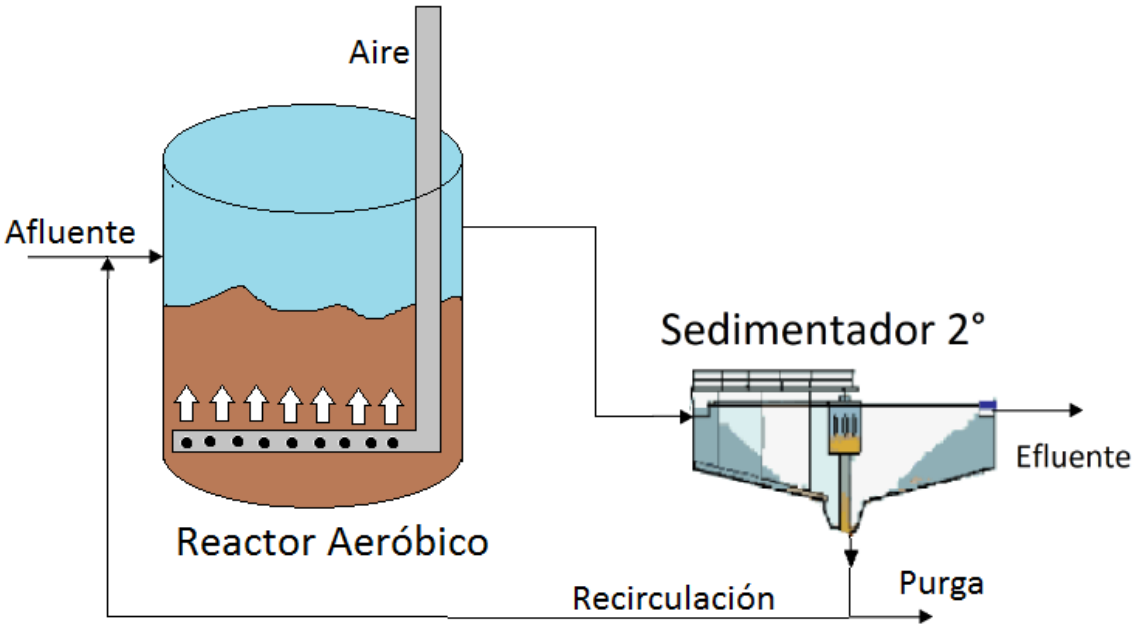


Figura 11: Sistema de lodos activos propuesta como tercera alternativa de tratamiento biológico. Fuente: elaboración propia.

En dicho proceso, el efluente ingresa a un reactor el cual presenta un cultivo bacteriano aerobio en suspensión, conociéndose al contenido como “licor mezcla”. Tanto la aireación como la mezcla se obtienen mediante un sistema de aireación compuesto por un compresor de aire y difusores de burbuja fina. Estos últimos se colocan sobre el fondo del reactor y son sumamente eficientes para la distribución de aire, siendo ésta directamente proporcional a la altura de líquido.

Luego de un cierto período de tiempo, el licor mezcla ingresa en el decantador secundario, donde se obtienen dos corrientes bien diferenciadas: la biomasa decantada y el líquido clarificado. Mientras que una fracción de la biomasa sedimentada se recircula al reactor aeróbico y otra es eliminada del sistema mediante la purga del mismo, el líquido clarificado ingresa al canal de efluentes del parque industrial, para luego ser volcado al cuerpo de agua receptor. A través de la recirculación se logra mantener en el reactor la concentración de células deseada.

Un funcionamiento eficiente de los Lodos Activados dependerá de lograr un buen equilibrio entre la contaminación que debe ser eliminada, la biomasa y el oxígeno suministrado. Las medidas a realizar tienen tres objetivos:

- Controlar la cantidad y calidad de la biomasa
- Controlar la cantidad de oxígeno suministrado
- Controlar el efluente y afluente

3.5 Análisis comparativo de las alternativas de tratamiento biológico de la línea de efluente L1

Una vez conocidas las características básicas del funcionamiento de las diferentes alternativas de tratamiento biológico, se procedió a dimensionar las mismas, con el fin de obtener un panorama general de la cantidad de espacio ocupado, requerimiento de oxígeno y energía, producción de lodos y la eficiencia del sistema, como principales variables determinantes para la elección del tratamiento a llevarse a cabo. Los cálculos realizados para el diseño de las unidades se presentan en el Anexo I.

A su vez, se procederá a evaluar los costos estimativos de cada uno, tanto de la inversión inicial, como de la operación y mantenimiento.

A partir de las características de dimensionamiento calculadas, y de ciertos datos extraídos de bibliografía, se procedió a realizar un cuadro comparativo entre las distintas alternativas propuestas (Tabla 8). A su vez, se planteó una coloración con respecto a las variables, en función al grado de ventaja que presenta una alternativa frente a la otra, con el objetivo de generar visualmente una mejor compresión de las alternativas. El criterio de colores empleados es el siguiente:

Ventaja	Coloración
Favorable	VERDE
Moderado	AMARILLO
Desfavorable	ROJO

Tabla 8: Análisis comparativo de las alternativas propuestas

Análisis Comparativo de las Alternativas		1. Laguna Aireada Mecánicamente	2. Reactor UASB + Lecho Percolador	3. Proceso de Lodos Activados
Espacio requerido	Volumen (m3)	8204	627	706.7
	Área (m2)	2735	171	88.3
Requerimiento estandar de O2 (kg/día)		1755	Ventilación natural	1895.2
Gasto Energético		Alto	Bajo	Alto
Producción de lodos		Medio	Bajo	Alto
Eficiencia de remoción		96	90	>98
Generación de Biogás		No	Si	No
Unidades Adicionales		Sedimentador 2°	Sedimentador 2°con recirculación	Sedimentador 2°con recirculación

Según el cuadro comparativo presentado, la Alternativa Nº1 resulta ser la menos favorable a llevar a cabo para el tratamiento biológico en cuestión, debido principalmente a que presenta la mayor superficie a utilizar. Si bien la eficiencia energética es alta, la misma varía dependiendo de las condiciones externas ambientales por lo que podría generar mayor incertidumbre en los períodos en que las temperaturas sean muy bajas.

La Alternativa Nº 2, por su parte, presenta las mayores ventajas en cuanto al gasto energético y el requerimiento de oxígeno, siendo suministrado el mismo a partir de la ventilación natural del lugar. Por otro lado, presenta baja producción de lodos, por lo que se vería beneficiado el sistema de tratamiento y disposición de los mismos.

La principal desventaja se encuentra asimilada a la eficiencia de remoción, siendo la misma de 90% quedando el valor de la DBO por encima del valor permitido de vuelco establecido por la normativa vigente.

En cuanto a la Alternativa N°3, la misma se destaca frente a las otras por presentar la mayor eficiencia de remoción de los contaminantes del efluente y por el poco espacio requerido para llevar a cabo el proceso, ocupando una superficie mucho menor en comparación con

la laguna aireada, y siendo prácticamente la mitad que el terreno ocupado para el sistema UASB + Lecho percolador.

Las principales desventajas que presenta se encuentran relacionadas con el alto gasto energético que requiere y a la elevada generación de lodos.

Para el análisis económico cuantitativo de las alternativas, se optó por realizar el mismo correspondiendo al precio en dólares (USD), debido a la inestabilidad de la moneda argentina de los últimos meses, pudiendo provocar que los valores se encuentren desactualizados rápidamente. Dicho análisis se realizó para la etapa de inversión inicial de las alternativas propuestas, utilizando los principales gastos a tener en cuenta en cada una de ellas.

Por otro lado, se realizó un análisis económico cualitativo de las etapas de operación y mantenimiento de las alternativas, teniendo en cuenta las recomendaciones y bibliografía consultadas.

En la Tabla 9, se presenta un resumen de los principales costos económicos que se verán involucrados para cada una de las alternativas.

Tabla 9: Análisis económico de las alternativas propuestas

Análisis Económico de las Alternativas	1. Laguna Aireada Mecánicamente	2. Reactor UASB + Lecho Percolador	3. Proceso de Lodos Activados
Inversión Inicial	Movimiento de suelo USD 98.450 *(1)*	Construcción e Instalación reactor UASB USD 35 000 *(5)*	Hormigón total 355m2 USD 30.175 *(6)*
	Impermeabilización USD 9.690 *(2)*	Hormigón LP USD 8.585 *(6)*	Total difusores: 209 USD 6.900 *(9)*
	Compresor de Aire USD 1.731 *(3)*	Relleno ordenado USD 63.500 *(7)* Distribuidor giratorio USD 39.700 *(8)*	Compresor de Aire USD 1,731 *(3)*
Costo Total (USD)	109.871	146.785	38.806
Costo de Operación	Medio	Medio	Alto
Costo de Mantenimiento	Bajo	Bajo	Alto

Para generar los costos de movimiento de suelo (1), se consultó con una agencia, la cual cuenta con un servicio de 12 USD/m3. Por otro lado, para la impermeabilización (2) del terreno, se optó por geomembrana de HDPE espesor 2mm marca BOYA, la misma tiene un valor de 3 USD/m2. Debido a que el requerimiento de aireación de la laguna aireada y los lodos activos es similar, en ambos casos se podría utilizar un compresor de aire (3) con las mismas características. Se optó por un compresor de la marca Airkom, modelo LA17 A, con una capacidad de 1,01m3/min.

Para la construcción e instalación del reactor UASB (5), el relleno ordenado (7) y el distribuidor giratorio (8) del proceso de Lodos activos se realizó una búsqueda por la página web alibaba.com, donde se estimó el precio de cada uno, a partir de unidades con características similares de operación y dimensiones.

Para el hormigón (6) necesario en las alternativas 2 y 3, se consultó con una empresa constructora, la cual cuenta con hormigón estructural a un costo de 85 USD/m2. Por último, para la estimación del costo de los difusores de aires (9), se utilizó la marca Repicky modelo RG-300, con un valor de 33 USD/ difusor.

Comparando los costos iniciales de cada una de las alternativas, la referente al proceso de lodos activados presenta la menor inversión inicial, generando una amplia diferencia con respecto a las otras dos alternativas. Si bien es la opción más económica inicialmente, el costo de operación y mantenimiento resulta ser mayor.

En cuanto a los costos implicados en las Alternativas 1 y 2, los mismos no muestran diferencias significativas, por lo que no sería una variable a considerar a la hora de selección entre una de ellas.

3.6 Selección de alternativa del Tratamiento Biológico para L1

Finalmente, para seleccionar la alternativa a utilizarse en la planta, se consideró con mayor prioridad una eficiencia de remoción alta ya que luego del paso del efluente por el sistema de tratamiento biológico, el mismo seguirá directo hacia los canales del parque para su

vuelco en el Río Luján, sin pasar por otra etapa de tratamiento, por lo que resulta importante obtener los mínimos niveles de contaminante luego de la etapa de tratamiento secundario.

Además, resulta importante considerar un tratamiento que no requiera gran espacio de ocupación, debido a la limitación de la superficie provista para la planta de tratamiento que brinda la industria, la cual es de 1,1 ha.

Si bien es importante tener en cuenta los costos operacionales y de mantenimiento, los mismos no fueron considerados de prioridad limitante en el momento de selección del proceso biológico, prefiriéndose dar mayor importancia a la efectividad del tratamiento.

Por tales razones, se optó por llevar a cabo la Alternativa N° 3 de Lodos Activados, la cual presenta una remoción de la carga orgánica del 98%, dejando los parámetros por debajo de los valores máximos de vuelco permitidos por la normativa aplicable.

En resumen, el sistema de tratamiento elegido consta de un reactor aeróbico de mezcla completa, el cual presenta microorganismos en suspensión que utilizan la materia orgánica del efluente como sustrato dentro de su metabolismo, seguido de un sedimentador secundario, el cual separa las aguas clarificadas que seguirán su recorrido hacia su vuelco final, de los lodos que decantan en el mismo, de los cuales un porcentaje se recirculará al reactor y la otra parte se purgará, para luego ser tratada previa a su disposición final.

3.7 Planta de tratamiento de efluentes líquidos

En conclusión, la planta de tratamiento de efluentes líquidos se encuentra dividida en dos líneas de efluentes: por un lado, la Línea Principal o Primaria, la cual representa la suma de las etapas de curtido, acabo y parte de la etapa de ribera. Por otro lado, la Línea Segregada o Secundaria, la cual proviene de los efluentes líquidos generados en el proceso de remojo de la etapa de ribera.

El tratamiento de la Línea Principal comienza con un pretratamiento, en el cual el efluente pasa a través de un sistema de rejas y tamiz, donde se separa la mayor cantidad de sólidos del mismo. Luego sigue hacia la cámara de homogeneización a partir del cual se genera un

caudal constante de salida del mismo, para continuar paso a través de las unidades del tratamiento primario fisicoquímico, en dicha etapa, primero pasa por un sistema de flotación DAF, en donde se elimina principalmente grasas, aceites y sólidos en suspensión. Parte de la materia orgánica se remueve en esta etapa del proceso. Una vez que el efluente abandona el sistema DAF, se dirige hacia la cámara de remoción de sulfuros en primer lugar y a la cámara de remoción de cromo seguidamente, en el que logra obtener las condiciones adecuadas para terminar su depuración a partir del tratamiento secundario biológico. En el mismo, el efluente ingresa al reactor aeróbico de lodos activados en el que los microorganismos remueven la mayor cantidad de materia orgánica, para luego pasar por un sedimentador secundario, en el que se separa el agua clarificada, de los barros generados. El agua que sale del sedimentador, reúne las condiciones para ser volcada hacia el conducto de efluentes del parque, con destino final de vuelco en el Río Luján.

Por su parte, el efluente de la Línea Segregada, comienza su depuración igualmente con un pretratamiento conformado por un sistema de rejas y tamiz rotativo. Luego sigue su camino hacia la unidad de ultrafiltración donde se extrae materia orgánica y contaminantes que puedan interferir el sistema de Ósmosis Inversa que sigue a continuación. El principal objetivo del mismo es remover las altas concentraciones de cloruros que presenta el efluente, obteniendo de esta forma, las condiciones adecuadas para unirse a las aguas tratadas de la línea principal, antes de ser volcado en la canaleta del parque industrial.

Se presenta a continuación un esquema básico de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la industria (Figura 12).

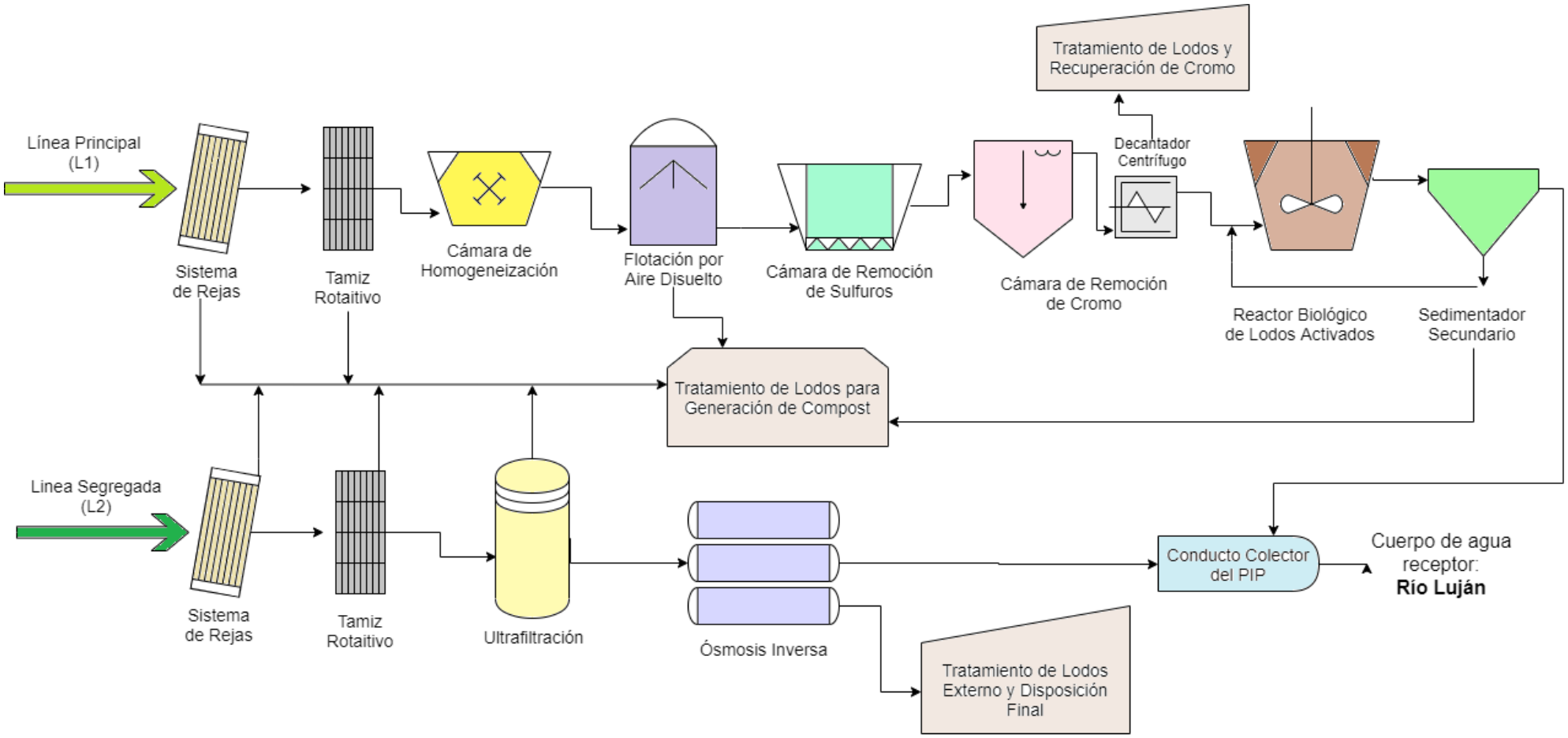


Figura 12: Diagrama del proceso global de tratamiento del efluente líquido de la Curtiembre. Fuente: Elaboración Propia

- CAPÍTULO 4-

Memoria Descriptiva del Sistema Seleccionado

4.1 Descripción del tratamiento para la Línea Principal (L1) del Efluente

4.1.1 Pre-tratamiento:

a. Sistema de Desbaste

El sistema de Desbaste se incorporó con el objeto de proteger de la posible llegada de grandes sólidos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los restantes tratamientos. A partir de un proceso físico, el desbaste permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas.

El desbaste de la planta de tratamiento en cuestión, consta de un sistema de rejas por el que se pasa en primer lugar el efluente crudo, para luego circular a través de un tamiz dispuesto a continuación.

En primer lugar se optó por un sistema de rejas idénticas en paralelo, de las una se encontrará en operación, mientras que la otra se dispondrá por posibles inconvenientes o para su utilización en los períodos de mantenimiento y limpieza de la otra. Las rejas instaladas son finas debido a que la distancia entre los barrotes es de 2cm, dispuestas fijamente con una inclinación de 30º y cuya limpieza de los sólidos retenidos será automática. Los residuos extraídos se someterán a un proceso de escurrido para eliminar el agua antes de su tratamiento y disposición.

Como se mencionó en el capítulo destinado a la caracterización del efluente a tratar, es posible notar que el mismo contiene una cantidad significativa de sólidos suspendidos de pequeño tamaño, como lo son los pelos, para los cuales un sistema de rejas no es lo suficientemente eficiente en su separación de manera de evitar el paso hacia los siguientes niveles del tratamiento. Por tales razones, se incorporó en el pre tratamiento un tamiz rotativo para el desbaste fino del efluente. Los tamices impiden el avance de sólidos finos y pueden ser estáticos o dinámicos.

En este caso, se eligió un tamiz rotativo, cuyo funcionamiento (Figura 13) comienza cuando el vertido a tratar entra a través de la brida situada en la parte exterior del cuerpo del tamiz, distribuyéndose uniformemente por el aliviadero y rebosadero a través del tambor filtrante. Luego, los sólidos quedan retenidos en la superficie del tambor mientras se produce su rotación, penetrando el vertido a través de la luz de malla efectuando una función de autolimpieza al volver a pasar por la parte inferior del tambor. Por último, en el paso por la rasqueta exterior se desprenden los sólidos de la malla, gracias a la gravedad los sólidos caen del rascador.

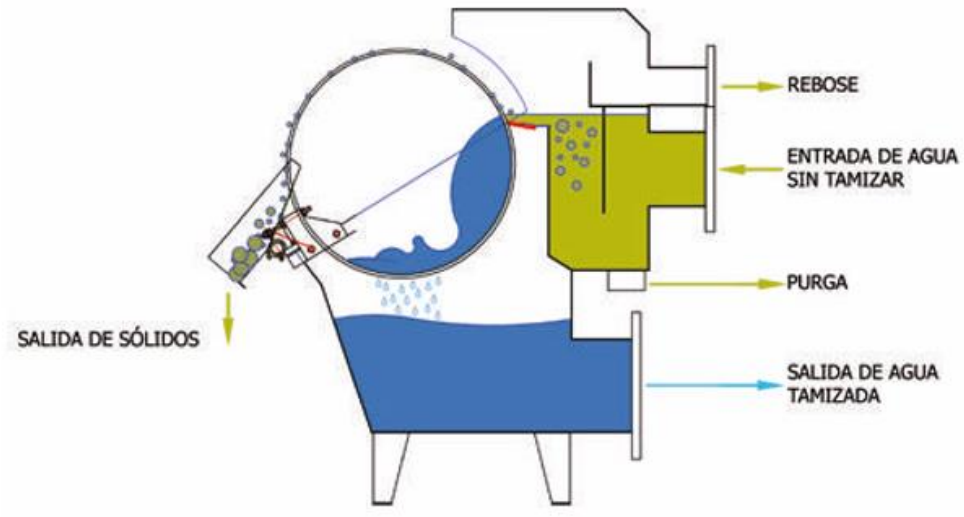


Figura 13: Funcionamiento básico de un tamiz rotativo. Fuente: Catálogo TR Defender.

Los residuos sólidos separados en el sistema de desbaste serán almacenados hasta su disposición o tercerización del tratamiento en cuestión.

b. Cámara de Homogeneización

El tanque de homogenización y aireación fue diseñado con el objetivo de amortiguar las variaciones del caudal, debido al flujo inconstante de los efluentes de las distintas etapas y horarios del día. Con ello se logra un efluente lo suficientemente uniforme en cuanto a características y caudal a partir de unos residuos discontinuos y variables en calidad y cantidad, de manera de proveer condiciones óptimas para los siguientes procesos, así como generar un control de pH y T para minimizar las necesidades de neutralización

Al producir una igualación de caudales, se genera como efecto secundario una disminución en la concentración de contaminantes reduciéndose los picos máximos de concentración de cromo y sulfuro. A su vez, se logra minimizar las fluctuaciones orgánicas, de manera de prevenir posibles cargas tóxicas puntuales al sistema biológico posterior y proveer alimentación continua a los mismos.

La ecualización se hace sobre la línea principal de efluente a nivel variable, lo que significa que la altura del agua dentro del tanque varía dependiendo el caudal de ingreso. A su vez, el efluente sale del tanque por bombeo, utilizando una bomba elevadora, que lleva las aguas a un nivel tal que le permite al efluente circular por las cañerías y unidades de la planta de tratamiento, mediante gravedad. Lo descripto anteriormente, se presenta con mayor profundidad, en el Capítulo 7.

4.1.2 Tratamiento primario fisicoquímico

a. Flotación por Aire Disuelto (DAF)

En los Sistemas de Flotación por Aire Disuelto (DAF), las partículas presentes en el efluente a tratar, son adhieran a las burbujas que se forman mediante la introducción de aire. El aire se introduce bajo presión en el agua a ser tratada, y se disuelve de acuerdo a la ley de disoluciones de Henry. Después de la presurización, la presión es liberada a las condiciones normales, creando así millones de microburbujas, las cuales envuelven las partículas de la suspensión, generando un compuesto menos denso que el agua, de manera tal de ser capaz de flotar a la superficie, en donde pueden ser fácilmente removidas. Cabe destacar que el presente proceso logra alcanzar una tasa de remoción del 90 por ciento para sólidos suspendidos y de 95 por ciento para aceites y grasas.

El Sistema DAF (Figura 14) consta básicamente de una cámara de flotación, una cámara de salida reciclo, un tanque de saturación y un sistema de recolección y descarga de sólidos. A su vez, debe contar con un sistema de presurización y un equipo de bombeo.

La Cámara de Flotación sirve para separar las partículas adheridas a las burbujas del agua y el saturado de aire disuelto donde el agua se somete a elevadas presiones. La presión que satura el agua, se introduce en la unidad de flotación a través de una válvula que reduce la presión rápidamente, lo cual provoca el exceso de gas saturado que precipita en forma de diminutas burbujas.

Luego el efluente pasa a la Cámara de Salida y Reciclo, donde una parte del caudal tratado sigue hacia el siguiente proceso, y otra parte – un 86% – es recirculado y mezclado con la corriente principal sin presurizar antes de la entrada al tanque de flotación. El flujo de reciclaje se inyecta al flujo principal, para pasar hacia la Cámara de Saturación, donde se realiza el aumento de la presión del efluente, antes de ingresar a la cámara de flotación. Para la saturación del efluente en el tanque, se requiere el suministro de aire comprimido.

Para la eliminación de los sólidos flotados, se requiere un mecanismo desnatador ubicado en la parte superior de la celda de flotación, el cual consta de una pala barredora que extrae los sólidos generados hacia el tanque de descarga de los lodos.

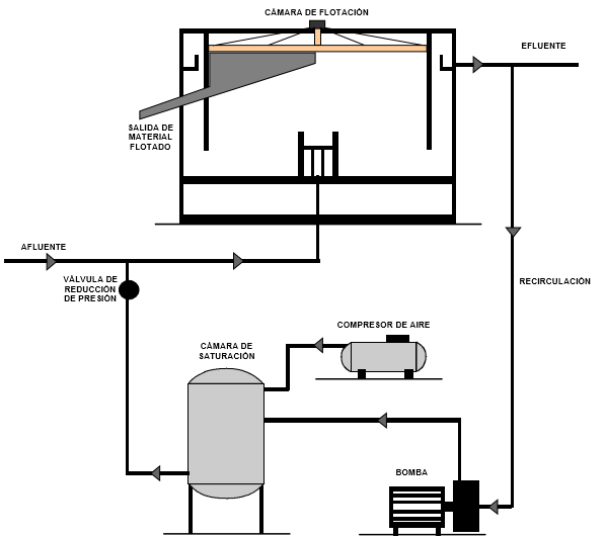


Figura 14: Diagrama del Proceso de Flotación por Aire Disuelto (DAF). Fuente: Ficha técnica DAF, INDITEX. Universidade da Coruña, 2013.

b. Remoción de Sulfuro

El sulfuro es uno de los principales contaminantes del efluente líquido de la curtiembre y a su vez actúa como destructor del pelo, provocando un incremento sustancial a la carga orgánica. Por tales razones, es importante reducir su consumo y concentración en el efluente, hasta alcanzar el límite permitido por la normativa para su vuelco.

Convencionalmente, el pelambre se lleva a cabo con sulfuro de sodio (Na_2S) y un álcalique, en la mayoría de los casos, es cal apagada, $Ca(OH)_2$. La presencia de sulfuro en la operación de pelambre explica que esta operación, por sí sola, sea responsable de la mayor parte de la toxicidad total del efluente, en la forma de sulfuro.

Habiendo analizado diversa bibliografía pertinente al tratamiento de remoción de sulfuro en efluentes líquidos – de manera general y específicos de curtiembres –, se optó por elegir una técnica de oxidación química (M. Kothiyal, 2016). Dicha técnica permite la eliminación de sulfuros por transformación a azufre elemental insoluble, que es separado de la fase líquida. Este azufre presenta menores riesgos medioambientales y tóxicos que los sulfuros y permite la valorización del residuo, recuperando el azufre mediante lavados químicos y deshidratación.

La solución de tratamiento propuesta es la oxidación química mediante oxígeno usando catalizador de sulfato de manganeso, en medio alcalino a pH 8.55, propio del efluente. En tales condiciones, se logra una oxidación del sulfuro a sulfato del 98%, en un tiempo estimado de 3 horas. La reacción total llevada a cabo en el proceso es la siguiente:

$$S^{2-} + 2O_2 + MnSO_4 \rightarrow SO_4^{2-}$$

La incorporación del catalizador MnSO4 tiene por objetivo la reducción del tiempo de reacción

Los sistemas de oxidación por aeración utilizan el oxígeno del aire como agente oxidante. Al ser el oxígeno un gas relativamente poco soluble en agua, es necesario reponer el oxígeno a medida que se consume para mantener una concentración de oxígeno adecuada y permanente en solución. Para ello es necesario incrementar la velocidad de disolución del oxígeno, lo que se logra aumentando la superficie y el tiempo de contacto de las burbujas de aire con la solución, mediante la producción de burbujas

de aire cuyo tamaño sea lo más pequeño posible. El suministro de aire será suministrado por una compresora.

La oxidación química por aeración utilizando sulfato de manganeso como catalizador para oxidar el sulfuro hasta sulfato, presenta las siguientes ventajas:

1. El tratamiento no genera residuo sólido final, debido a que el mismo es reutilizado luego en el proceso productivo.
2. Permite el seguimiento de la reacción mediante el control de sulfuros.
3. Consigue la total eliminación de los sulfuros, todo ello en una etapa de tratamiento.

c. Remoción de Cromo

El cromo es utilizado en los procesos de curtido para evitar la descomposición de la piel por acción de los microorganismos, reaccionando con el colágeno de la piel por una interacción que envuelve el grupo hidrogenión (H+) del colágeno protonado y el grupo hidroxilo (OH-) de la sal básica de cromo, combinándose con grupos funcionales del colágeno que pertenezcan por lo menos a dos de las tres cadenas peptídicas que constituyen a éste.

A partir de bibliografía científica, se evaluaron las distintas posibilidades de remoción del cromo del efluente líquido, considerando las condiciones en las que se encuentra el efluente al momento del tratamiento y la eficiencia de remoción.

Entre las posibilidades que se tuvieron en cuenta, se destaca la remoción del cromo por bioadsorción a partir del hongo *Paecilomyces sp*, el cual se encuentra de manera natural al norte de Argentina y posee gran eficiencia de remoción, utilizando baja cantidad de biomasa y agitación constante de 100 rpm a 30°C. La desventaja que presenta el mismo frente al efluente a tratar, es que el pH óptimo al que opera se encuentra entre 1 y 2 upH, presentando el efluente pH 8.55. Para la utilización de esta técnica, debería considerarse una segregación del efluente en la etapa de curtido, donde el pH se encuentra dentro del rango de operación del hongo.

Finalmente se optó por un tratamiento por precipitación química utilizando como agente precipitante hidróxido de sodio NaOH – también conocido como soda cáustica – en escamas grado industrial de 98% de pureza. La eficiencia de remoción de cromo

alcanza el 99.8%, precipitando el mismo a hidróxido de cromo, a partir de la siguiente reacción:

$$Cr^{3+} + 3OH^{-} \rightarrow Cr(OH)_3$$

El hidróxido de cromo precipitado, puede ser recuperado para su reutilización en la etapa de curtición del proceso productivo. Más adelante en el trabajo, se analizará un posible tratamiento de los lodos generados durante el presente tratamiento, para la recuperación del cromo presente en los mismos.

El medio para que la reacción ocurra debe encontrarse a valores de pH cercanos a 9, con agitación constante a 120 rpm a partir de un agitador estandarizado. La precipitación alcalina presenta ciertas ventajas, como la facilidad relativa de control del pH, la operación sencilla para implementación industrial, no requiere regeneración de materiales de adsorción, el único metal que precipita con la soda cáustica a partir del agua residual del proceso de curtido es el cromo, porque no hay presentes otros metales que formen hidróxidos insolubles en estos vertimientos y el costo de precipitante es relativamente bajo.

Para disminuir el tiempo necesario de sedimentación del precipitado generado, se utilizan dos decantadores centrífugos continuos idénticos, dispuestos de manera paralela (Figura 15), a través del cual pasa el efluente tratado en el tanque de precipitación química.

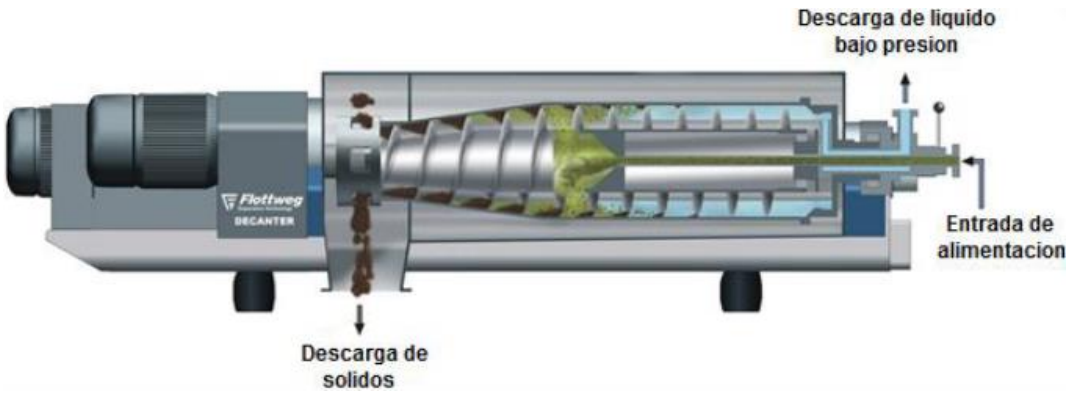


Figura 15: partes de un decantador centrífugo continuo. Fuente: Precipitación del cromo y reutilización del agua de vertimiento de curtiembres de Santo Benito, D. E. Pinilla Arbeláez, 2014.

Este sistema presenta diversas ventajas como su operación continua, sistema compacto que ocupa relativamente poco espacio, obtención del precipitado más compacto permitiendo mayor proporción en su reutilización en el proceso de curtido. Los catálogos indican que tiene bajo consumo energético gracias a su baja potencia instalada.

4.1.3 Tratamiento secundario biológico

Anteriormente, se analizaron tres posibles alternativas de tratamiento secundario en las cuales cada una presentaba ventajas y desventajas con respecto a las otras. Finalmente, se optó por un proceso de Lodos Activados, debido a ser el tratamiento con mayor eficiencia de remoción de materia orgánica, ocupando una superficie menor que los otros sistemas.

a. Proceso de Lodos Activados

El proceso de Lodos Activados (Figura 16), consta de dos unidades fundamentales: por un lado, el reactor biológico propiamente dicho, en el cual se realiza la descomposición de la materia orgánica a partir de microorganismos, y, por otro lado, un sedimentador secundario, el cual, por gravedad, separa los lodos generados en el reactor, del agua clarificada.

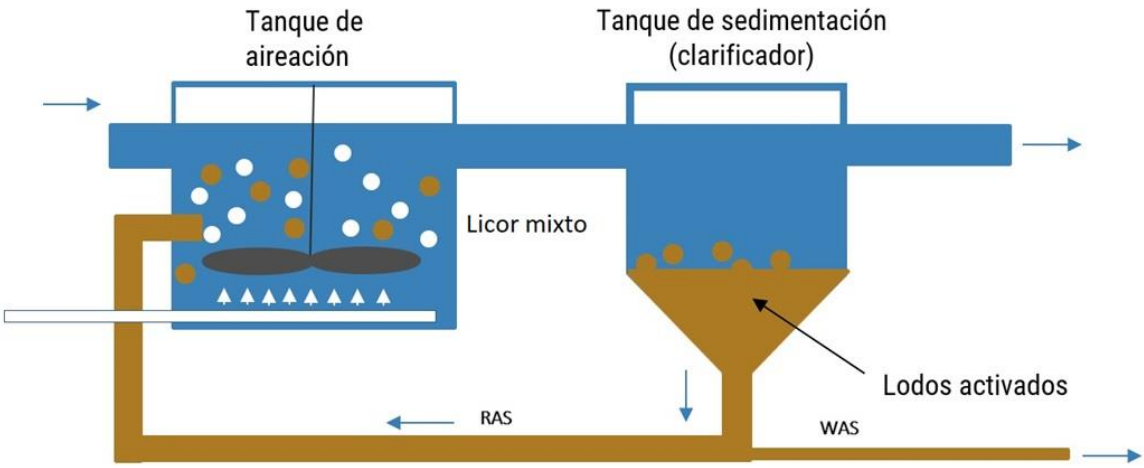


Figura 16: Diagrama del proceso de lodos activados. Fuente: Cropaia (https://cropaia.com/es/blog/lodos-activados/).

Una vez que sale del sistema, el agua clarificada de la línea principal del efluente presenta las características requeridas para seguir el recorrido por los canales de efluentes del parque industrial hacia su vuelco en el Río Luján.

Por otro lado, cierto porcentaje de los lodos separados en el sedimentador secundario es reincorporado al reactor biológico, mientras que el porcentaje restante sale del sistema mediante la purga, para luego ser almacenado hasta su tratamiento y disposición final.

El objetivo de la recirculación de los lodos hacia el reactor biológico es mantener la concentración y la edad de los microorganismos en el mismo, de forma de conservar la eficiencia del proceso.

4.2 Descripción del tratamiento para la Línea Segregada o Secundaria (L2) del Efluente en el Proceso de Remojo

La línea del efluente segregada en el proceso de remojo, presenta como principal característica, un alto nivel de la concentración de cloruros disueltos. Habiendo analizado diferentes opciones de tratamiento, se optó por un sistema de Ósmosis Inversa, debido a la alta eficiencia de remoción de los mismos.

Para llevar a cabo el tratamiento por OI, es necesario que el efluente cumpla con ciertos niveles de calidad, de manera tal de hacer el proceso más eficiente, evitar obstrucciones y aumentar la vida útil de las membranas que lo componen. Por tales motivos, se realiza un pretratamiento del efluente, el cual consta de un sistema de desbaste – que incluye rejas y un tamiz rotativo –, y un proceso de ultrafiltración.

a. Sistema de Desbaste para el efluente segregado

Al igual que para la línea principal del efluente, se utilizaron rejas de limpieza automática con la finalidad de retener la mayor cantidad de sólidos que se puedan presentar en las aguas residuales producidas durante el proceso de remojo de las pieles, de manera tal de no provocar alteraciones, obstrucciones ni roturas en el proceso siguiente de ósmosis inversa.

Luego, se hace pasar el efluente por un tamiz rotativo, con el objetivo de eliminar del efluente a tratar, los sólidos más finos que no pudieron ser retenidos por el sistema de rejas anterior. El paso de dichos sólidos por los siguientes tratamientos de filtración, puede obstruir o disminuir la eficiencia de los mismos.

b. Proceso de Ultrafiltración para el efluente segregado

Previo a someter el efluente al proceso de ósmosis inversa para la remoción de cloruros disueltos en el mismo, se lo hace circular a través de un sistema de ultrafiltración, con el objetivo de favorecer las condiciones con las que ingresa al tratamiento por OI, de tal forma de aumentar su eficiencia y proteger las membranas.

La ultrafiltración es una filtración de alta presión que separa las partículas insolubles del agua. Se trata de un proceso muy fiable, que abate totalmente los sólidos suspendidos en el agua, con bajos costes de utilización. Durante el servicio no se utilizan productos químicos,por lo cual los eluados de desecho no tienen concentraciones excesivas de contaminantes.

La base del sistema de ultrafiltración son los módulos, que efectúan el proceso de separación con alta capacidad de retención de coloides, limo, bacterias y la mayor parte de los virus, en caso de estar presentes (Figura 17). Los módulos de ultrafiltración están realizados con dos capas de fibras huecas (capilares) de PVDF que garantizan elevada resistencia al estrés mecánico por fricción.

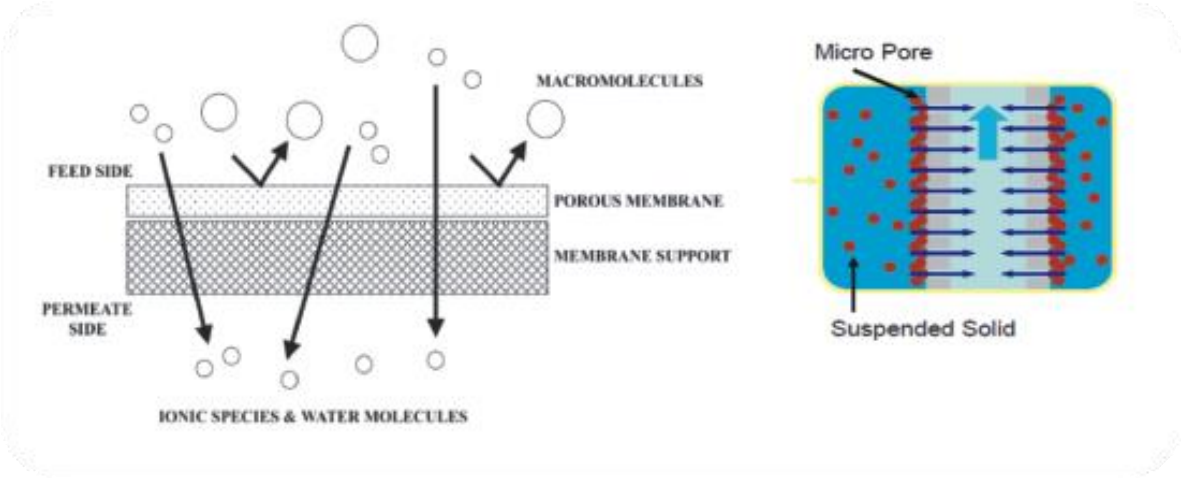


Figura 17: Funcionamiento del sistema de ultrafiltración. Fuente: TECCA (https://www.tecca.com.co/ultrafiltracion.html)

Debido a que no presentan la capacidad de filtrar especies iónicas, es necesario la utilización posterior del Sistema de Ósmosis Inversa, para la eliminación de los cloruros que presenta el efluente.

c. Proceso de Ósmosis Inversa para el efluente segregado

A partir del proceso de ósmosis Inversa, el cual ocurre mediante la aplicación de presión sobre una membrana semipermeable, se logra la separación de los cloruros presentes en el efluente y otros materiales y compuestos iónicos disueltos en el mismo.

Puede ser considerada como el grado más avanzado de filtración que se ha inventado para la purificación del agua y sin añadirle ninguna sustancia química. Es tal su ventaja, que es la tecnología que se utiliza en algunos países en la actualidad para convertir el agua de mar en agua desalinizada o apta para el consumo.

La ósmosis (Figura 18) es el movimiento de moléculas a través de una membrana parcialmente permeable porosa, que va de una región de menor concentración a otra de mayor, en esta acción la membrana tiende a igualar las concentraciones en los dos lados, alcanzando el equilibrio del sistema. Este flujo de partículas solventes hacia la zona de menor potencial se conoce como presión osmótica medible en términos de presión atmosférica.

La ósmosis inversa (Figura 18) es un proceso inventado por el hombre que invierte el fenómeno natural de ósmosis. En el tratamiento de agua, los sólidos disueltos al generar presión quedan retenidos en la membrana semipermeable y atravesando la misma únicamente el agua. El desplazamiento se produce desde la zona de mayor concentración a la zona de menor concentración, para logar este efecto, es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica.

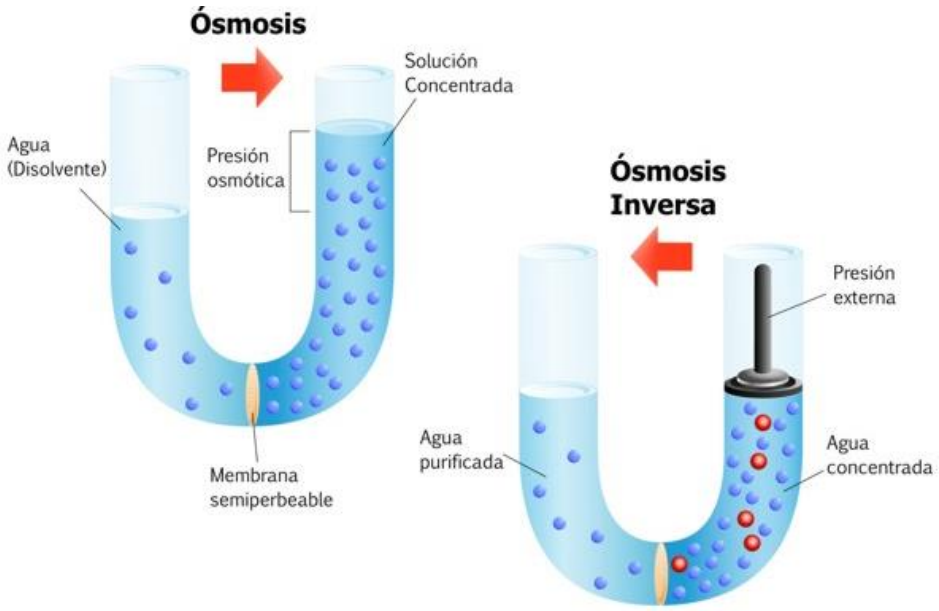


Figura 18: Procesos de ósmosis y ósmosis inversa. Fuente: Carbotecnia (https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-la-osmosis-inversa/).

Las membranas de ósmosis inversa tienen la característica de hacer una limpieza continua mientras trabajan, porque de no ser así, sufrirían una acumulación de contaminantes y una saturación en poco tiempo, por lo que parte del flujo de agua entrada arrastra los contaminantes sales y minerales. A esto se le conoce como agua de rechazo, que comúnmente es 40% de agua producto y 60% de agua de rechazo. En equipos con agua de calidad relativamente buena, puede ser 50% / 50% y en aguas con sólidos disueltos totales (TDS) bajos, hasta 60% / 40%.

Un sistema de ósmosis inversa consiste en diferentes membranas semipermeables agrupadas con espaciadores entre medio que permiten el flujo de agua (Figura 19). En el centro se encuentra un tubo permeable que es donde circulará el permeado. El efluente circula entre las membranas gracias a los espaciadores y el permeado ingresa en la zona central debido a un proceso de filtración de flujo cruzado (crossflow) en donde el agua difunde tangencialmente por la membrana permitiendo tener una sola entrada pero obteniendo un rechazo y un permeado.

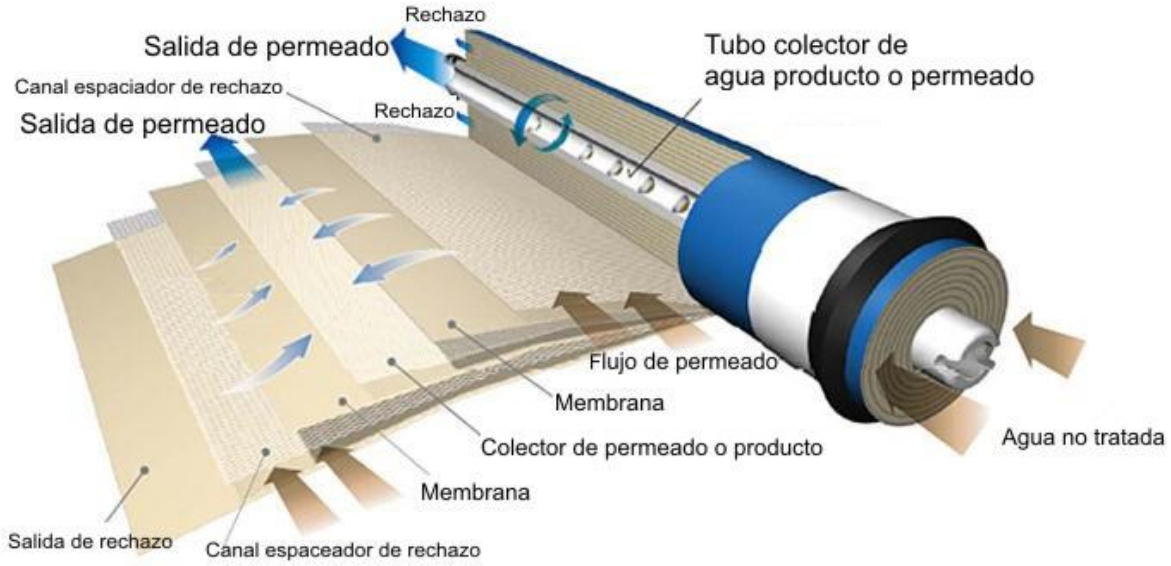


Figura 19: Membrana de un sistema de ósmosis inversa. Fuente: Carbotecnia (https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-la-osmosis-inversa/).

A partir del sistema de ósmosis inversa, el agua alcanza valores aptos para ser volcado al cuerpo de agua superficial. Por tal razones, una vez que abandona la unidad de OI, el efluente se une al canal donde se encuentra el efluente tratado de la línea principal de tratamiento, para ser conducido hacia el colector del PIP, previo a su vuelco en el Río Luján.

- CAPÍTULO 5 -

Memoria de Cálculo del Diseño de Tratamiento Seleccionado

A continuación, se presentan los procedimientos y ecuaciones utilizados para dimensionar las unidades pertinentes a cada parte del tratamiento de los efluentes generados durante el proceso productivo de curtición de pieles.

A sí mismo, se mencionan las simplificaciones, suposiciones y elección de valores tomados por la bibliografía utilizada para realizar los diferentes cálculos.

5.1 Línea Principal (L1) de tratamiento del Efluente

5.1.1 Pre-tratamiento:

Para el diseño del sistema de desbaste conformado por las rejas y el tamiz rotativo, se consideró el caudal máximo de efluente que puede generarse en el proceso productivo, de manera de abarcar las condiciones más desfavorables con las que se puede trabajar. Una vez que el efluente ingresa a la cámara de homogenización, el mismo se equilibra, obteniendo un caudal constante de salida de 2051m3/día. Dicho caudal será el caudal de diseño para las unidades posteriores.

a. Sistema de Desbaste

Sistema de Rejas

Se optó por un sistema de rejas de limpieza automática debido a que el caudal con el que se trabaja es alto (Qmax1= 102,5 m3/h). Para realizar el dimensionamiento, se adoptaron valores típicos de ciertos parámetros, entre ellos, la velocidad de

acercamiento (v), factor de forma circular (β) y ángulo de inclinación de la reja (θ). En la Tabla 10 se puede observar el valor definido para cada uno.

Tabla 10: Valores adoptados para el dimensionamiento de las rejas

Parámetros adoptados del sistema de rejas	Valor
Inclinación típica θ (°)	30
Factor de forma circular B (adimensional)	1,79
Ancho transversal W (m)	0,012
Espacio entre barras b (m)	0,02
Velocidad de acercamiento v (m/s)	0,76

El área del canal (Ac), se obtuvo de la siguiente manera:

$$Área\ canal = \frac{Caudal\ medio}{Velocidad\ de\ acercamiento}$$

Se corroboró con el caudal máximo y mínimo (Qmedio ± 20% Qmedio), que las velocidades de acercamiento para el área calculada, se encontraran dentro de los valores establecidos por bibliografía para rejas de limpieza automática (0,6<v<1 m/s).

Se procedió a calcular la altura de tirante (hv), para la cual se adoptó un ancho de canal de 0.5 m, teniendo en cuenta que el ancho mínimo para que funcione el rastrillo es de 30 cm. La ecuación utilizada en este caso es:

$$Altura\ de\ tirante = \frac{Area\ canal}{Ancho\ canal}$$

Una vez obtenida la altura de tirante (aguas arriba), cuyo valor es de 52 mm, se realizó el cálculo de la pérdida de carga (h_L) en las rejas a partir de la ecuación:

$$h_L = \beta \left(\frac{W}{b}\right)^{4/3} hv\ sen\theta$$

β = factor de forma de la barra

W = anchura máxima transversal de las barras en la dirección de la corriente (m)

b = Separación mínima entre las barras (m)

h_v = Altura cinética del flujo que se aproxima a la reja (m)

θ = Ángulo de la reja con respecto a la horizontal

El valor obtenido para la pérdida de carga es de 24 mm. Se verifica que la misma es menor a la máxima permisible de 150 mm. Una vez conseguidos el valor de la altura por pérdida de carga y la altura de tirante, se obtiene la altura total (H) de la siguiente manera:

$$Altura\ total = h_L + hv + cota$$

Donde se toma un valor de cota de 1 m.

Por otro lado, la longitud total se obtiene sumando la longitud de acercamiento (l_{ac}), cuyo valor mínimo es de 40 cm, y la longitud de inclinación (l_{inc}), la cual se calcula de la siguiente manera:

$$Longitud\ inclinación = \frac{H}{\tan\theta}$$

Por último, se calculó la cantidad de barras que deben emplazarse, teniendo en cuenta que las mismas serán circulares, y adoptando valores de ancho y espacio entre ellas, según la bibliografía consultada. A continuación, en la Tabla 11 se presentan los valores finales del dimensionamiento del sistema de rejas.

Tabla 11: Valores de dimensionamiento de las rejas de la línea principal (L1)

Dimensionado de rejas	Valor
Ancho canal (m)	0,75
Altura total (m)	1,07
Longitud total del canal (m)	2,25
Longitud total de rejas (m)	2,14
Área total (m2)	0,8
Cantidad de barras circulares	23

Cabe destacar que se realizarán dos sistemas idénticos de rejas en paralelo, de manera tal de asegurar el continuo tratamiento del efluente en este punto, previo a los tratamientos llevados a cabo en las unidades posteriores, incluso en períodos de mantenimiento o en el caso de surgir algún inconveniente o desperfecto en el funcionamiento de uno de ellos.

Tamiz Rotativo

Se utilizará un tamiz rotativo en el proceso de eliminación de residuos sólido-líquido, el cual funciona a través de un tambor filtrante formado por una luz de malla perforada, de manera tal de eliminar los sólidos que arrastra el agua.

Para el pretratamiento de la línea de corriente principal, se optó por un tamiz rotativo de la marca “Defender”, modelo TR Defender Gama 63/150, con malla perforada de 2 mm de diámetro, para un caudal máximo de agua limpia de 144 m3/h, teniendo en consideración que el influente de la línea principal a pasar por el tamiz posee un caudal medio de 119 m3/h. El motivo de selección de la malla perforada por sobre malla de rejilla, se basa en la eficiencia de retención de fibras largas (cabellos, cerdas, etc.). Dicho equipo posee un sistema de autolimpieza y accionamiento automático de funcionamiento. Las especificaciones técnicas del equipo se adjuntan en el Anexo II.

Las partes que conforman el equipo (Figura 20) se numeran a continuación:

- *Tambor Filtrante:* construido en acero inoxidable mediante el arrollamiento en espiral de un perfil triangular sobre un tambor con malla perforada del diámetro especificado. Este conjunto de elevada rigidez y resistencia retiene en la superficie exterior los sólidos de tamaño superior a la luz empleada e impide la formación de cúmulos en el interior.
- *Cuerpo de Filtro*: en el que se fija el tambor filtrante en su parte delantera mediante rodamientos. En la parte posterior dispone de un depósito receptor del agua sin tamizar, distribuyendo éste en corriente laminar.
- *Rasqueta Limpiadora*: que elimina los sólidos depositados en la superficie del tambor filtrante.
- *Grupo de Accionamiento*: consiste en un motorreductor acoplado directamente sobre el eje del tambor filtrante proporcionando a éste su movimiento de rotación.
- *Depósito de Agua Tamizada*: se sitúa debajo del cuerpo de filtro recogiendo el líquido filtrado que es evacuado a través de una tubuladura embridada.
- *Sistema de Limpieza*: situado en el interior del tambor filtrante, provisto de toberas que proyectan agua a presión sobre la cara interior del cilindro efectuando una completa limpieza.

Figura 20: Partes del Tamiz Rotativo. Fuente: Catálogo TR Defender.

b. Cámara de Homogeneización

Para realizar el diseño de la cámara de homogeneización se tuvo en cuenta que la planta productiva de la curtiembre funciona todos los días – de lunes a domingos – variando su nivel de producción en períodos regulares de 4 horas durante el día. De esta manera, la variación del efluente líquido generado, va a ser proporcional al de producción. En la Figura 21 se puede observar como es la dinámica de variación del caudal de aguas residuales con respecto a las horas del día.

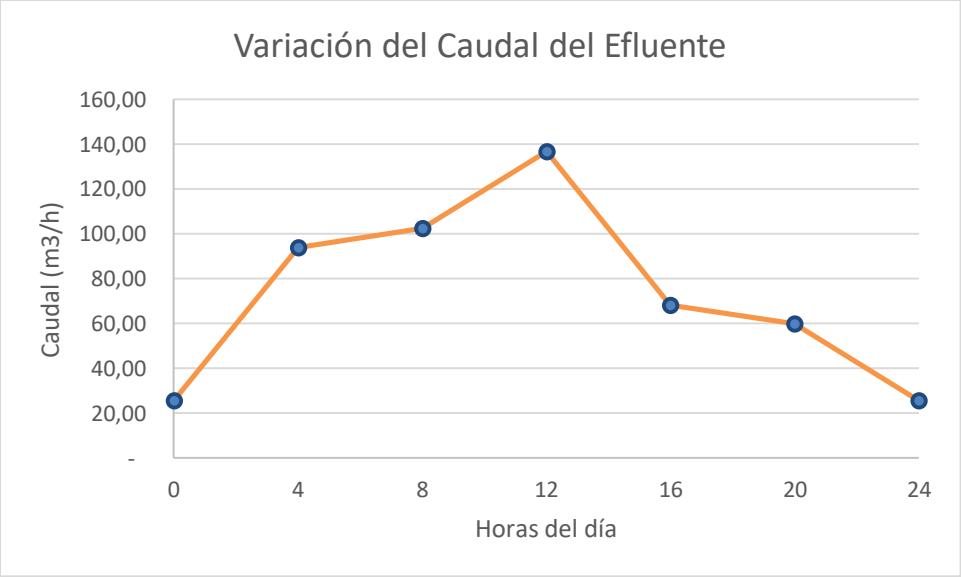


Figura 21: Variación del caudal del efluente con respecto al tiempo

A partir de los diferentes caudales que se manejan a lo largo del día, se obtuvieron los volúmenes de agua que se generados en cada intervalo de tiempo, multiplicando el caudal medio en el intervalo por la cantidad de horas (4 horas) que dura cada uno de ellos. Luego se calculó el volumen acumulado en cada intervalo de la siguiente manera:

$$Volumen\ intervalo = \ 4\ h * Qmedio\ del\ intervalo\ (m^3/h)$$

$$Vol\ acumulado\ intevalo = Vol\ intervalo + Vol\ acumulado\ intervalo\ anterior$$

A su vez, se calculó el volumen medio generado, a partir del promedio de los volúmenes obtenidos en cada intervalo de tiempo, para luego calcular el volumen acumulado medio de cada intervalo, como se muestra a continuación:

$$Volumen\ medio = \frac{\sum Volumen\ intevalo}{Cantidad\ total\ de\ intervalos}$$

$$Vol\ acumulado\ medio = Vol\ medio + Vol\ acumulado\ medio\ anterior$$

Habiendo obtenido los volúmenes acumulados de cada intervalo y los volúmenes acumulados medios, se calculó la diferencia entre ambos, de manera de determinar el volumen mínimo y máximo que se van a generar.

El volumen total de la cámara de compensación (Vcc) se determina realizando el siguiente cálculo:

$$Vcc = 1{,}2 * (Volumen\ máximo + Volumen\ mínimo)$$

Cabe destacar que el Vcc se encuentra multiplicado por 1,2 debido a que se tiene en consideración un 20% más del volumen total, como margen de seguridad. Para calcular el área, se tomó una altura de 7 m de alto del tanque, debido a que es el valor máximo permitido.

El requerimiento de aire para la mezcla homogénea del efluente es obtenido a partir de un aireador mecánico de la marca Flygt, modelo 4320. Las especificaciones se presentan en el Anexo II.

Tabla 12: Valores del dimensionamiento de la cámara de homogeneización

Dimensionado de la cámara de homogeneización	Valor
Volumen del tanque cc (m3)	882
Area del tanque cc (m2)	126
Altura cc (m)	7
Diámetro cc (m)	13
Requerimiento total de aire (m3 aire/h)	3298

Cabe destacar, que una vez que el efluente ingrese a la cámara, independientemente de la hora del día, saldrá con un caudal de 85,4 m3/hora hacia las unidades correspondientes a los tratamientos posteriores de la planta. La salida de dicho efluente será a partir de una bomba centrífuga, cuyas modelo elegido y características se detallan en el Capítulo 7.

5.1.2 Tratamiento Primario Fisicoquímico

a. Flotación por Aire Disuelto (DAF)

Cámara de Flotación

Los factores a considerar en el diseño de las unidades de flotación incluyen la concentración de partículas, cantidad de aire usada, velocidad de la partícula y tasa de carga de sólidos (Metcalf y Eddy, 2003). El desarrollo de un sistema de flotación por aire disuelto depende principalmente de la proporción de volumen de aire por masa de sólidos (A/S) requeridos para lograr un determinado grado de clarificación y la misma está dada por la ecuación:

$$\frac{A}{S} = \frac{1{,}3\ sa\ (f\ P - 1)\ R}{Sa\ Q}$$

A/S: relación aire-sólidos (mg aire/ mg sólido)

1,3: peso específico del aire (mg/cm3)

sa: solubilidad del aire en agua a presión atmosférica (cm3/l)

f: fracción de aire disuelto a presión de trabajo entre 0,5-0,9

P: presión de trabajo (atm)

Sa: SST (mg/l)

R: caudal de recirculación del efluente tratado presurizado (m3/s)

Q: caudal del efluente (m3/s)

La proporción A/S es según Eckenfelder (1997), el principal criterio de diseño en un sistema DAF, porque de este depende la eficiencia del sistema. Existen otros parámetros de diseño de igual o mayor importancia; estos son el tiempo de retención (TRH) y la carga hidráulica superficial (CHS).

A partir de la ecuación anterior, se calculó el caudal del efluente tratado que va a ser recirculado por el sistema (R), el cual ronda en un 86% del total tratado, verificándose que se encuentra dentro de los valores máximo y mínimo establecidos para el diseño (15 y 120% respectivamente, según Metcalf & Eddy).

De esta forma, se obtuvo, además, el caudal total (Q total) que va a ingresar en la cámara de flotación, como la suma del caudal de entrada del efluente y el caudal de recirculación.

La recirculación del efluente tratado hacia la cámara de flotación, se realizará mediante la utilización de una bomba centrífuga, detallada en el Capítulo 7.

Para el dimensionamiento de la cámara de flotación, resultó necesario la adopción de valores característicos para ciertos parámetros, según la bibliografía consultada. Entre ellos se encuentra la carga hidráulica superficial (CHS), con la que se obtuvo el área de la cámara a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Área } superficial\ (m^2) = \frac{Q\ total}{Carga\ Hidráulica\ Superficial\ (m^3/m^2\min)}$$

A su vez, se calculó el Tiempo de Retención Hidráulica (TRHf) del efluente en la cámara de flotación, a partir del cociente entre el volumen de la cámara y el caudal total. En la Tabla 13 se presentan los valores obtenidos y adoptados para el diseño.

Tabla 13: Valores del Dimensionamiento de la Cámara de Flotación

Dimensionado Cámara de Flotación			Valor
Valores Adoptados	A/S	Relación aire-sólidos (mg aire/mg solido)	0,02
	sa	Solubilidad del aire en agua a 1 atm (ml/l)	20,1
	f	Fracción de aire disuelto a P de trabajo	0,7
	P	Presión (atm)	3
	CHS	Carga Hidráulica Superficial (m3/m2min)	0,16
	h	Profundidad de la cámara (m)	2,5
	w	Ancho de la cámara(m)	3
R		Caudal de recirculación (m3/h)	74
Q total		Caudal de entrada a la cámara (m3/h)	160
L		Largo de la cámara (m)	5,5
V flotación		Volumen de la cámara (m3)	42
TRHf		Tiempo de Retención Hidráulica (min)	15

Tanque de Saturación

Para el obtener el volumen del tanque de saturación (m3), se adoptó un tiempo de retención hidráulica (TRHs) de 1 minuto según recomendación bibliográfica. El cálculo fue realizado a partir de la siguiente ecuación:

$$Volumen\ Tq\ Saturación = Q\ recirculación\ (R) * TRH\ saturación$$

Sobre el volumen obtenido por la ecuación presentada, fue considerado un 10% adicional del volumen, como margen de seguridad.

Luego, se utilizaron las ecuaciones descritas a continuación, para obtener finalmente el caudal de aire necesario para realizar la saturación del efluente:

$$C\ sólidos = Sa * Q\ total$$

$$M\ aire = C\ sólidos * \frac{A}{S}$$

$$Q\ aire = \frac{Maire}{\rho\ aire}$$

C sólidos: carga de los sólidos (kg sólidos/ hora)

M aire: masa del aire (kg aire / hora)

ρ aire: densidad del aire a 20°C y 1 atm (kg/m3)

En la Tabla 14 se presentan los valores obtenidos y adoptados para el diseño del tanque de saturación.

Tabla 14: Valores del Dimensionamiento del Tanque de Saturación

Dimensionado del Tanque de Saturación			Valor
Valores Adoptados	TRHs	Tiempo de Retención Hidráulica (min)	1
	h	Altura del tanque (m)	2
	ρ aire	Densidad del aire a 20° y 1 atm (kg/m3)	1,2
V saturación		Volumen del tanque de Saturación (lts)	1355,2
C sólidos		Carga de sólidos (kg sólidos/h)	198,24
M aire		Masa de aire (kg aire/h)	3,96
D		Diámetro del tanque (m)	0,93
Q aire		Caudal de aire (m3 aire/h)	3,3

Cámara de Salida- Reciclo

Una vez que el efluente tratado abandone la cámara de flotación hacia la cámara de salida-reciclo, va a permanecer en la misma tan solo instantes, antes de ser divido el caudal para su recirculación y paso a los siguientes niveles del tratamiento. Por tales motivos, se considera que el tiempo de retención hidráulica (TRHsr) en dicho tanque será de 45 segundos, siendo la separación de caudales, un proceso casi instantáneo.

En la Tabla 15 se presentan los valores obtenidos y adoptados para el diseño de la cámara de Salida-Reciclo.

Tabla 15: Valores del dimensionamiento de la cámara de salida-reciclo

Dimensionado de la Cámara de Salida-Reciclo			Valores
Valores Adoptados	h	Altura de la cámara (m)	1,5
	TRHr	Tiempo de Retención Hidráulica (seg)	45
A		Área de la cámara (m2)	1,33
V salida-reciclo		Volumen de la cámara (m3)	2

L	Largo de la cámara (m)	0,8
w	Ancho de la cámara (m)	1,66

Remoción de Cargas y Producción de Lodos.

En la Tabla 16 presentada a continuación, se muestran los parámetros que se ven afectados por el paso del efluente a través del Sistema DAF, disminuyendo sus valores iniciales. Con respecto a la remoción de Grasas y Aceites (AyG) se estima que el proceso presenta una eficiencia del 93%, mientras que para los SST la eficiencia ronda en un 90% y para la cárga orgánica del efluente un 30%.

Tabla 16: Valores iniciales y finales de los parámetros afectados por el sistema DAF

Parámetro	Valor inicial	Valor final	Eficiencia
SST (mg/l)	1181,2	118,12	90%
DQO (mg O2/l)	1643,1	1150,14	30%
DBO (mg O2/l)	877,5	614,25	
AyS (mg/l)	235	16,45	93%

Sistema de recogida de flotantes.

Para la remoción del material suspendido del tanque de flotación, se utilizará un barredor superficial, a través del cual se recogerán los sólidos flotantes de la superficie del tanque de flotación, para luego disponer dichos residuos en un recinto de acumulación de flotantes, anexo a la cámara de flotación.

b. Remoción de Sulfuro

Para realizar el dimensionamiento del tanque de reacción y obtener las condiciones necesarias para la remoción del sulfuro en el efluente en cuestión, se utilizó como bibliografía de guía el trabajo de investigación titulado "*Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre*" (C. Gilberto Salas, 2005). Es necesario recordar que, para establecer las condiciones de trabajo óptimas, es imprescindible realizar pruebas piloto antes de la implementación a nivel industrial.

Para oxidar el sulfuro contenido en las aguas residuales de la curtiembre, se diseñó un sistema de aeración conformado por un tanque de aeración. El volumen del mismo se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$Volmen\ tq\ oxidación\ S^{2-}(m3) = 1{,}5 *\ t\ reacción\ (hs) *\ Q\ efluente\ L1$$

Donde *t reacción*, representa el tiempo de reacción necesario para una total oxidación de los sulfuros, y *1,5* representa un margen de sobredimensionamiento, siendo un 50% más del tamaño del tanque, a fin de evitar rebalses debido a la formación de espuma.

Si bien la dosis teórica de oxígeno necesaria es de 2 g O2/ g S2- teniendo en cuenta la reacción de oxidación del sulfuro a sulfato, la dosis de oxígeno necesaria es mucho mayor, dado que depende de varios factores, como la concentración del sulfuro, la temperatura y la eficiencia del sistema de aeración (tamaño de las burbujas y tiempo de contacto). Éste último, en el mejor de los casos, puede variar entre 25-30%. Por este motivo los sistemas de aeración deben ser los más eficientes posibles para reducir los tiempos, uso de insumos y facilitar la oxidación.

El suministro de aire será proporcionado por un compresor e introducido desde el fondo del tanque de aeración a través de una tubería unida a una placa perforada, cuyos orificios presenten un diámetro pequeño (alrededor de 0,5 mm). La relación de aire utilizada para calcular el flujo de alimentación es de aproximadamente 60 m3 de aire por cada m3 de efluente a tratar:

$$Q\ aire\ \left(\frac{m3\ aire}{min}\right) =\ Requerimiento\ de\ aire\ \left(\frac{m3\ aire}{m3\ efluente}\right) * Q\ efluente\ L1$$

Para la oxidación del sulfuro se utiliza sulfato de manganeso (98% de pureza) como catalizador, en una relación de 0,4 kg MnSO4/m3 efluente. La cantidad necesaria de catalizador se obtiene de la siguiente manera:

$$Cantidad\ de\ MnSO4\ \left(\frac{kg}{hora}\right) = Requerimiento\ \left(\frac{kg\ MnSO4}{m3\ efluente}\right) * Q\ efluente\ L1$$

Para obtener la cantidad óptima del catalizador se recomienda realizar pruebas en laboratorio con el efluente de la curtiembre en cuestión a tratar.

A continuación, en la Tabla 17, se presentan los valores adoptados y obtenidos para el dimensionamiento del tanque de aireación para la oxidación catalítica de los sulfuros de la línea principal del efluente.

Tabla 17: Valores del dimensionamiento del tanque de oxidación catalítica de sulfuros

Dimensionado del Tanque de Oxidación Catalítica de Sulfuros		Valor
Valores Adoptados	Tiempo de reacción (horas)	3
	Profundidad (m)	3,5
	Relación MnSO4-efluente kg MnSO4/ m3 efluente)	0,4
	Requerimiento de Aireación (m3 aire/m3 efluente)	60
Caudal de aire (m3 aire/ min)		85,44
Volumen del tanque (m3)		384,5
Área del tanque (m2)		110
Diámetro del tanque (m)		12
Cantidad de Catalizador MnSO4 (kg MnSO4 / hora)		34

c. Remoción de Cromo

Para realizar el dimensionamiento del tanque de reacción y obtener las condiciones necesarias para la precipitación química del cromo, se utilizó como bibliografía de guía el trabajo de investigación titulado "*Tecnología para la remoción y recuperación del cromo*
trivalente en efluentes de curtido de pieles" (Nacheva P. M., 2003) y "*Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración"* (A. Quishpe, 2010). Si bien se realizó el dimensionamiento utilizando los trabajos anteriormente mencionados, para establecer las condiciones de trabajo óptimas, es imprescindible realizar pruebas piloto antes de la implementación a nivel industrial.

La precipitación química es el método más usado para quitar los iones solubles de los metales y luego recuperarlos como hidróxido metálico. Este proceso es controlado por medio del pH, en el caso del cromo se puede explicar usando un diagrama de Pourbaix (Eh-pH). Este diagrama es una gráfica de potencial redox en función del pH (Figura 22), donde se muestran las principales especies termodinámicamente estables para el cromo en solución.

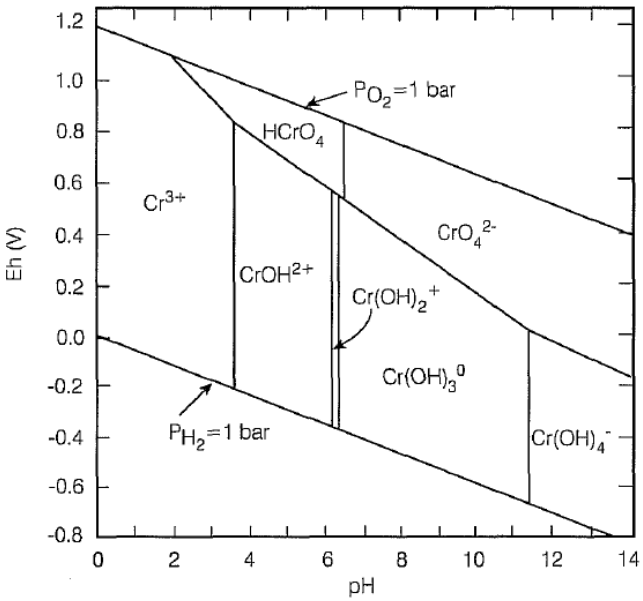


Figura 22: Diagrama Eh-pH para especies de cromo en solución acuosa. Fuente: Ingeniería Hidráulica en México Vol18, 2003.

En la Figura 22 se observa que a intervalos de pH entre 7 y 11, la forma predominante es Cr(OH)3 y la solubilidad del hidróxido es mínima, en cambio a mayores valores de pH se forma Cr(OH)4 aumentando la solubilidad del cromo.

Para la precipitación química del cromo se utiliza solución de hidróxidos de sodio (NaOH) 5M como agente precipitante. Considerando que el cromo trivalente presente en las aguas residuales por tratar es generalmente un sulfato, la reacción con el reactivo precipitante será:

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6\,NaOH \rightarrow 2\,Cr(OH)_3 \downarrow + Na_2SO_4$$

De la ecuación se puede calcular estequiométricamente que para la precipitación del Cr3+ con NaOH se necesita una dosis específica de 2.31 g NaOH/g Cr3+. En la precipitación se forma 1.98 g de Cr(OH)3 por un gramo de Cr3+.

Para permitir la reacción del cromo con dicha solución, es necesario agitación constante de 120 rpm durante 20 minutos, a pH 8,55 propio del efluente. En el intervalo de pH de 7 a 9 el cromo precipita en forma de hidróxido (Cr(OH)3), lo que facilita posteriormente la recuperación del metal.

Para el dimensionamiento del tanque de reacción, se calculó el volumen utilizando el producto entre el tiempo de contacto de la solución de NaOH con el efluente y el caudal con que ingresará el efluente al tanque. Luego, se calculó la cantidad necesaria del agente precipitante con una pureza del 98%, de la siguiente manera:

$$Cantidad\ de\ NaOH\left(\frac{kg}{día}\right) = Dosis\ NaOH\ 4M\ \left(\frac{g}{g\ Cr_3}\right) * Q\ efluente\ L1 * \frac{100}{98}$$

En la Tabla 18, se presentan los valores adoptados y calculados para el dimensionamiento del tanque de precipitación química del cromo, utilizando NaOH como agente precipitante.

Tabla 18: Valores del dimensionamiento del tanque de precipitación química del cromo

Dimensionado del tanque de precipitación del Cromo		Valor
Valores Adoptados	Tiempo de contacto (min)	20
	Agitación (rpm)	250
	Dosis NaOH 4M (g/gCr3+)	2,31
	Cantidad de precipitado (g/gCr3+)	1,98
	Volumen de precipitado (%)	26,8
	Profundidad del tanque (m3)	3,5
Volumen del tanque (m3)		28,48
Área del tanque (m2)		8,1
Diámetro del tranque (m)		3,21
Cantidad de NaOH (kg/día)		1222
Cromo final en el efluente (mg/l)		0,516
Cantidad de Cr(OH)3 precipitado (kg/día)		1048

Para lograr una agitación de 120 rpm en el tanque, se utilizó un agitador vertical estandarizado industrial de la marca Fluid Mix modelo VTG4 (Figura 23) La principal característica del mismo es la turbina axial de 4 palas, la cual posee una alta potencia absorbida y logra un fuerte efecto de mezclado en tanques de 10 a 100 m3 de volumen. Las especificaciones técnicas del mismo se encuentran en el Anexo II.

Los agitadores de paletas VTG son ideales para realizar mezclas rápidas en las que se requiere gran aporte de energía y turbulencia. Se caracterizan por tener una turbina de varias paletas planas e inclinadas un determinado ángulo (normalmente 45º) con el fin de generar un flujo con componentes axial y radial siendo también muy apropiados para aquellos procesos en los que se requiera mantener sólidos en suspensión y trasmitir mucha potencia al producto.

Con el fin de absorber con total garantía los esfuerzos generados por la turbina durante su funcionamiento, los agitadores VTG4 se montan con reductores de ejes paralelos los cuales se caracterizan por tener rodamientos de mayores dimensiones y por ello mayor resistencia a los esfuerzos.

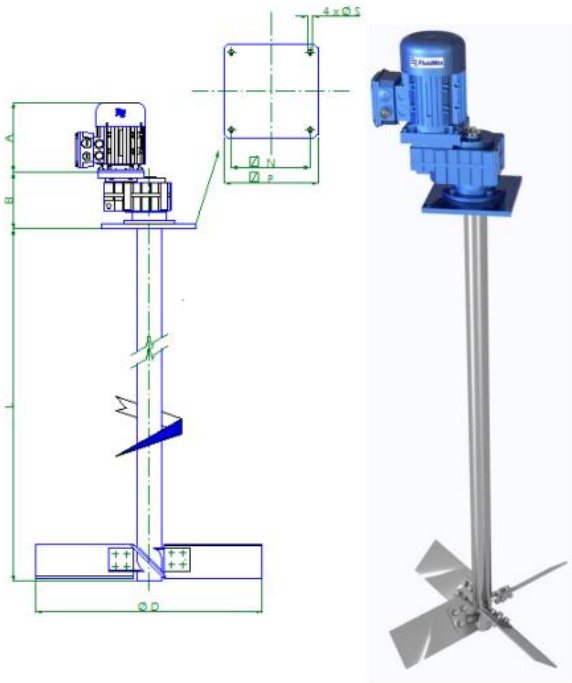


Figura 23: Agitador industrial Fluid Mix modelo VTG4.

Para reducir el tiempo de sedimentación, se buscó a nivel industrial la maquinaria requerida, utilizando un decantador centrifugo de flujo continuo, cuya función principal es generar la fuerza centrífuga que produce la separación de los sólidos sobre la pared del rotor, y el reducir el tiempo de sedimentación a una operación continua, en donde el flujo del agua residual precipitada entrara al decantador centrifugo, separando el precipitado de hidróxido de cromo del agua anteriormente nombrada como agua sobrenadante.

Se utilizarán dos decantadores centrífugos idénticos dispuestos en paralelo, de la marca Kingreat modelo PDC-21 (Figura 24).

Figura 24: Decantador centrífugo Kingreat PDC-21

Dichos decantadores poseen una capacidad que varía entre 15-50 m3/hora, con una potencia del motor de 45 kW. En la Tabla 19 se presenta las dimensiones del mismo. Las especificaciones técnicas se adjuntan en el Anexo II.

Tabla 19: Dimensiones del decantador centrífugo Kingreat PDC-21

Dimensiones del decantador centrífugo Kingreat PDC-21	Valor
Largo (m)	4,587
Ancho (m)	1,285
Alto (m)	1,368
Diámetro (mm)	540
Capacidad (m3/h)	15-50
Potencia del motor (kW)	45
Velocidad (rpm)	2800

A partir del decantador, se logra separar la fase líquida del efluente, la cual sigue su recorrido hacia las siguientes unidades de tratamiento, y la fase sólida, los lodos generados con alto contenido de precipitado de Cr(OH)3, el cual puede ser recuperado para obtener sulfato de cromo y ser reintegrado al proceso de curtido. Se estima que el porcentaje en volumen de hidróxido de cromo húmedo precipitado respecto al volumen total (agua sobrenadante y precipitado) es de 26,8%. A partir de este valor, se estimó el volumen de los lodos a partir de la siguiente ecuación:

$$Cantidad\ de\ lodo\ \left(\frac{m3}{hora}\right) = \frac{26{,}8\ Vol\ lodos}{100\ Vol\ total\ efluente} * Q\ efluente\ L1$$

En la Tabla 20 se presenta el volumen de lodo generado con alto contenido de precipitado de Cr(OH)3 a recuperar.

Tabla 20: Generación de lodos con alto contenido de cromo

Generación de Lodos con alto contenido de Cromo	Valor
Porcentaje de precipitado de Cr(OH) (%)	26,8
Cantidad total de lodos generados (m3/hora)	22,9

4.1.3 Tratamiento Secundario Biológico

A continuación, se procederá a describir en detalle el proceso de dimensionamiento del tratamiento biológico seleccionado. Como anteriormente se detalló, el mismo cuenta de un reactor biológico donde es realizado el proceso de lodos activados, seguido de un sedimentador secundario donde se separa el agua clarificada de los lodos, parte de los cuales se recicla y otra se purga.

a. Reactor biológico de Lodos Activados

Diseño del reactor

Para iniciar con el dimensionamiento del reactor de lodos activados, es necesario realizar, previamente, ciertas consideraciones:

- Mezcla completa en el reactor: se considera que la dispersión de los componentes es homogénea en todo el reactor, presentando igual concentración en cada punto del mismo,
- Recirculación de un porcentaje de los lodos generados desde el sedimentador secundario hacia el reactor
- Cinética de crecimiento de Monod de primer orden: crecimiento de los microorganismos con limitación de sustrato
- Efluente estéril: la concentración de microorganismos en el efluente de entrada al reactor se supone nula
- Estado estacionario del sistema: no se presentan cambios en la concentración celular con respecto al tiempo
- Efecto de metabolismo endógeno

Para el diseño del sistema de lodos activos, resulta necesario realizar diferentes balances de masa, en los que básicamente, se plantea:

$$Acumulación = Entrada - Salida + Reacción\ Neta$$

Considerando el sistema formado por el reactor y el sedimentador (Figura 25), es posible realizar un balance de biomasa de la siguiente manera:

$$V\frac{dX}{dt} = Q_0X_0 - (Q_SX_S + Q_PX_R) + V\,rg'$$

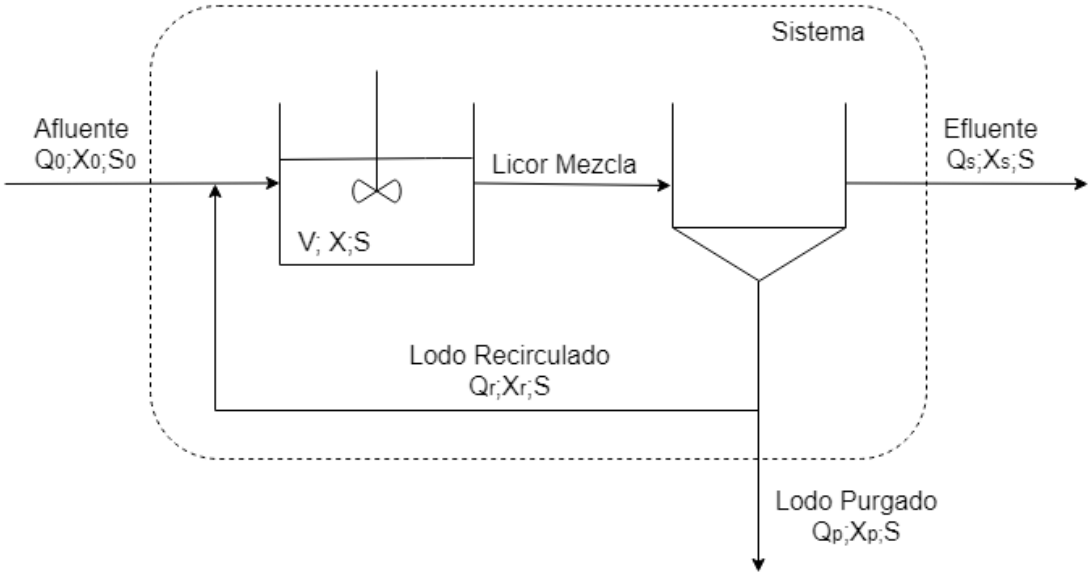


Figura 25: Límites del sistema de Lodos Activados adoptado para el dimensionamiento. Fuente: Elaboración Propia

Donde:

V: Volumen del reactor biológico (m3)

dX/dt: Tasa de cambio de la concentración de microorganismos el reactor (mgSSLM/día)

Qo: Caudal de afluente en el reactor (m3/día)

Xo: Concentración de microorganismos en el afluente (mgSSLM/l)

Qs: Caudal de efluente (m3/día)

Qp: Caudal de purga (m3/día)

Xp: Concentración de microorganismos en la purga (mgSSLM/l)

Xs: Concentración de microorganismos del efluente (mgSSLM/l)

rg': Tasa neta de crecimiento de los microorganismos (mgSSLM/l*día)

El valor de la velocidad rg' es la variable correspondiente a la actividad de los microorganismos en el reactor, la misma se define como:

$$rg' = rg + rd$$

La variable *rg* corresponde a la tasa de crecimiento celular (suponiendo cinética de Monod) y *rd* es el término correspondiente al metabolismo endógeno o tasa de descomposición:

$$rg = -Y\ rsu = -\mu_{max} \frac{SX}{(Ks + S)}$$

$$rd: -kd\ X$$

Siendo:

Y: rendimiento o relación entre la masa celular formada y el sustrato consumido (kgXgenerado/ kg DBO consumido)

rsu: tasa de utilización del sustrato (mgDO/m3 día)

µmax: tasa de crecimiento específico máximo (t^{-1})

Ks: constante de velocidad a la mitad → concentración del sustrato para la mitad de su tasa máxima de crecimiento (µ/2)

X: concentración de microorganismos (masa/volumen)

kd: constante de descomposición (t^{-1})

S: concentración de sustrato (masa DBO/volumen)

Reemplazando las ecuaciones arriba mencionadas en el balance de masa presentado, y suponiendo esterilidad en el afluente (concentración nula de microorganismos) y condiciones estacionarias (dX/st=0) se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{Qp\ Xp + Qs\ Xs}{Vr\ X} = -\frac{Y\ rsu}{X} - kd$$

A su vez, el parámetro rsu definido como la tasa de utilización de sustrato, se expresa de la siguiente manera:

$$rsu = -\frac{Q\ (So - S)}{Vr} = -\frac{(So - S)}{\theta}$$

Donde:

S: Concentración del sustrato en el efluente (mgDBO/l)

So: Concentración del sustrato en el afluente (mgDBO/l)

Θ: Tiempo de retención hidráulico (h^{-1})

El tiempo de celular (Θc) indica el tiempo de permanencia de una célula bacteriana en el sistema y representa un parámetro de control del funcionamiento del proceso de lodos activos. Dicho parámetro, corresponde a la inversa del término izquierdo obtenido del balance de masa:

$$\theta c = \frac{Vr\ X}{Qp\ Xp + Qs\ Xs}$$

Trabajando con las ecuaciones arriba mencionadas y despejando el volumen del reactor, el mismo queda definido de la siguiente manera:

$$Vr = \frac{\theta c\ Q\ Y\ (So - S)}{X\ (1 + kd\ \theta c)}$$

Una vez calculado el volumen del reactor, se prosiguió adoptando su profundidad, para luego calcular la superficie ocupada por el mismo. Se considera un reactor de base circular, por lo que se obtuvo el diámetro a partir del área calculada.

La relación entre el alimento disponible y la cantidad de microorganismos (F/M) es un parámetro de control de la operación del tratamiento biológico, dicho valor se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{F}{M} = \frac{So}{\theta\ X} = \frac{So\ Q}{V\ X}$$

Por otro lado, para obtener los caudales correspondiente a la purga, reciclo y salida del sistema, en primer lugar, se procedió a realizar un balance de masa en el reactor:

$$V\frac{dX}{dt} = (QoXo + QrXr) - Q_R X_R + V(YKsXS - kdX)$$

Donde:

Q_R: caudal de salida del reactor (m3/h)

X_R: concentración de microorganismos a la salida del reactor (mgSSLM/l)

Considerando estado estacionario, concentración de microorganismos nula en el afluente y sabiendo que Q_R = Qo + Qr, se obtiene el caudal de recirculación dado por:

$$Qr = \frac{QoXr - Y\ (So - S)\ Qo + V\ kd\ X}{Xr + X_R}$$

A partir de la ecuación anteriormente presentada, se obtiene el caudal de recirculación del sistema, el mismo corresponde al 38% del caudal principal. Para llevar a cabo la recirculación, se empleará una bomba centrífuga, la cual se describe en el Capítulo 7 del presente trabajo.

Para obtener los caudales restantes, se procedió a realizar un balance de masa del sistema completo (reactor biológico y sedimentador secundario), obteniendo la expresión:

$$V\frac{dX}{dt} = QoXo - (QsXs + QpXp) + V(YKsXS - kdX)$$

Sabiendo además que el caudal del reactor es la suma del caudal de entrada y el de recirculación (Q_R = Qo + Qr); que el caudal de entrada debe ser igual a la suma del caudal de salida y el de purga (Qo = Qs + Qp) y adoptando un valor de concentración de microorganismos de recirculación (Xr) y purga (Xp) igual a 7000 mgSSLM/l, se obtiene el caudal de purga y salida del sistema de la siguiente manera:

$$Qp = \frac{Y\ (So - S)\ Qo - V\ kd\ X}{Xp}$$

$$Qs = Qo - Qp$$

A partir de los valores obtenidos, se deduce que el caudal de purga de los lodos generados, es el 5% con respecto al caudal principal.

En la Tabla 21 se presentan los valores adoptados y obtenidos para el dimensionamiento del reactor biológico del Proceso de Lodos Activados. Se verificó que

los mismos se encuentren dentro de los valores recomendados por la bibliografía utilizada (Metcalf&Eddy, 2014), presentada en la Tabla 22.

Tabla 21: Dimensionamiento del Reactor Biológico del Proceso de Lodos Activados

Dimensionamiento del Reactor Biológico		Valor
Adoptados	Concentración DBO de salida (S) (mg/l)	30
	Tiempo de retención celular Ɵc (días)	6
	Y (mg SSV/ mg DBO)	0,5
	Tasa de descomposición Kd (día-1)	0,06
	Concentración de microorganismos X (mg/l)	3700
	Concentración de microorganismos recirculados Xr (mg/l)	7000
	Profundidad del reactor (m)	6
Tiempo de retención hidráulca Ɵ (hora)		8,3
Diámetro del reactor (m)		12
Superficie del reactor (m2)		118
Volumen del reactor (m3)		706,7
Relación F/M (mgDBO/ mgSSV día)		0,48
Caudal de recirculación (Qr)(m3/día)		771
Caudal de purga (Qp)(m3/día)		101
Caudal de salida (Qs) (m3/día)		1920

En la Tabla 22 se presentan los valores de los parámetros involucrados en el sistema de lodos activados. El valor de sólidos suspendidos del licor mezcla representa el rango de biomasa que suelen encontrarse en un reactor aeróbico de mezcla completa como el asumido en el proyecto diseñado. En cuanto a las constantes adoptadas, no se han considerado rangos para su determinación, teniendo en cuenta valores de referencia experimentales utilizados para efluentes industriales y específicos de curtiembres.

Tabla 22: Valores de referencia del dimensionamiento de lodos activados para un reactor de mezcla completa (Metcalf & Eddy, 2014)

Valores de referencia	Valor
Tiempo de retención hidráulico θ (hora)	3 a 5
Tiempo de retención celular θc (día-1)	5 a 15
Sólidos suspendidos del licor mezcla X (mg/l)	3000 a 6000

Determinación de la Producción de Lodos

La producción de lodo activado volátil (Px) purgado desde el tanque de sedimentación se obtiene mediante el siguiente cálculo:

$$Px = Qp\ Xp$$

Por último, se procedió a calcular la carga orgánica volumétrica (COV) del reactor, utilizando la siguiente ecuación:

$$COV = \frac{Qr\ S + Qo\ So}{V}$$

Los resultados obtenidos en cuanto a la producción de lodos activados se presentan a continuación, en la Tabla 23.

Tabla 23: Generación de lodos del tratamiento

Producción de Lodos	Valores
Px (kgSSLM/día)	707
COV (kgDBO/ m3 día)	1,81

Cabe destacar, que el valor obtenido de carga orgánica volumétrica, se encuentra dentro de los límites establecidos cuyo rango es de 0,3 a 3 kg DBO/m3 día.

Requerimiento de Nutrientes

Para su crecimiento y metabolismo, los microorganismos aeróbicos requieren materia orgánica, aire y nutrientes. Por tales motivos, resulta necesario calcular las concentraciones de nitrógeno y fósforo – principales nutrientes – presentes en el efluente. De este modo, se puede determinar si los mismos se encuentran en exceso o defecto, estableciendo el requerimiento de dosificación en este último caso.

Para ello, se determinó la carga de DBO, nitrógeno y fósforo del efluente que ingresa al tratamiento biológico de la siguiente manera:

$$Cn = Qo\ N$$

Donde:

Cn: Carga del nutriente (kg nutriente/día)

Qo: Caudal de entrada al tratamiento biológico (m3/día)

N: concentración del nutriente que ingresa al tratamiento biológico (mg/l). El mismo se encuentra establecido a partir de la caracterización del efluente.

En el caso de la concentración de nitrógeno, la misma no se encontraba caracterizada, sino que fue necesario calcularla a partir de la concentración de amoníaco presente en el efluente. En primer lugar, se calcularon los moles de amoníaco de la siguiente manera:

$$n = \frac{m}{Mr}$$

Donde:

n: Número de moles de NH3 en el efluente (mol NH3/l)

m: Concentración de NH3 del efluente (mg/l)

Mr: masa molar de NH3 (17g/mol)

Una vez calculado los moles de amoníaco presentes en el efluente, y conociendo la masa atómica del nitrógeno (Ar= 14g/mol) se obtiene la concentración del mismo a partir de la ecuación dada a continuación:

$$m(N) = n\,Ar$$

A través de la relación *DBO: N: P = 100:5:1* (Metcalf&Eddy, 2014) es posible estimar la cantidad de nutrientes que debe haber presente en el licor mezcla para que los microorganismos degraden la materia orgánica de manera eficiente. Por tal motivo, se establecieron las cargas de nitrógeno y fósforo que debería haber en el licor mezcla, para luego compara dichos valores con las carga de nutrientes obtenidas. Los resultados se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24: Determinación de requerimiento de nutrientes para el tratamiento biológico

Parámetro	Concentración en el afluente (mg/l)	Carga del nutriente (kg/día)	Carga necesaria (kg/día)	Conclusión
DBO	614,5	1260,34		
Nitrógeno	97	186,64	63	Exceso
Fósforo	12	24,61	12,6	Exceso

Debido a que ambos nutrientes se encuentran en exceso, no resulta necesario la incorporación de un sistema de dosificación al reactor biológico.

Requerimiento de Oxígeno y Sistema de Aireación

Para determinar el sistema de aireación, en primer lugar, se determina el requerimiento de oxígeno RO a través de la siguiente ecuación:

$$RO = \frac{Q\ (So - S)}{F} - 1{,}42\ Px$$

Donde:

RO: Requerimiento de oxígeno (kgO2/h)

Q: Caudal de líquido que ingresa al sistema (Qo+Qr) (m3/h)

So: Concentración de DBO del líquido que ingresa al reactor aeróbico (mg/l)

S: Concentración de DBO del líquido que abandona el reactor aeróbico (mg/l)

F: Factor de conversión. F=0.65 (adimensional)

Px: Producción de lodos secundarios (kg/d)

Habiendo obtenido el valor de RO, se calcula el requerimiento estándar de oxígeno SOR, que permitirá conocer la cantidad de aire que debe ser suministrado, de la siguiente manera:

$$SOR = \frac{RO}{\left[\beta\left(\frac{Cwat - C_L}{Cs}\right)\right] 1{,}024^{(T-20)}\alpha}$$

Donde:

SOR: Requerimiento de oxígeno estándar, en agua limpia a 20°C y una concentración de OD de 0mg/l (kgO2/h)

RO: Requerimiento de oxígeno (kgO2/h)

β: Factor de conversión por salinidad y tensión superficial (adimensional)

Cwat: Concentración de saturación de OD para agua residual (mg/l)

C_L: Concentración de OD en condiciones de operación (mg/l)

Cs: Concentración de oxígeno saturado en agua limpia a 20°C y 1 atm (mg/l)

α: Factor de conversión de transferencia de oxígeno para agua residual (adimensional)

T: temperatura ambiente (°C)

Es necesario previamente conocer la concentración de saturación del oxígeno disuelto Cwat, la cual se calcula según la ecuación:

$$Cwat = Sol * Cal$$

Donde:

Sol: Solubilidad a temperatura ambiente (mg/l)

Cal: Calibración a 85 msnm (%)

Los valores adoptados para los distintos parámetros, recomendados por bibliografía o extraídos de tablas y gráficos con variables estandarizadas, se presentan a continuación en la *Tabla 25.*

Tabla 25: Valores adoptados según bibliografía y estandarización para el cálculo de RO y SOR

Valores adoptados para el cálculo de RO y SOR	
Factor de conversión (F)	0.65
β	1
α	0.85
T ambiente (°C)	22
CL (mg/l)	2
Cs (mg/l)	9.17
Calibración a 85 msnm (%)	99
Solubilidad a 22°C (mg/l)	8.74
Densidad del aire a 20° y 1 atm (kg/m3)	1.2
Fracción molar de O2 (%)	23.2

Una vez calculado el requerimiento de oxígeno estándar, se obtuvo el caudal de aire necesario que debe ser inyectado al reactor, dividiendo el SOR por la fracción molar del O2 y la densidad del aire a 20°C y presión atmosférica. El compresor de aire a utilizar, considera tanto el valor obtenido como la pérdida de carga.

Para cubrir la demanda de oxígeno necesaria, se optó por colocar difusores de membrana de burbuja fina. Los mismos poseen miles de micro-perforaciones que permiten obtener valores altos de transferencia de O2, de modo de favorecer la eficiencia. Los difusores a utilizar son de la marca Repicky, Modelo RG-300. A partir de la ficha técnica (Anexo II) provista por el fabricante y el valor obtenido de SOR obtenido, se procedió a calcular el número de difusores necesario, sabiendo que el reactor biológico posee una superficie de 88,34 m2. Las características del difusor necesarias para realizar los cálculos, se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26: Características del difusor de burbuja fina Repicky RG-300

Características del Difusor Repicky RG-300	
Caudal de diseño (Nm3/h)	5
Pérdida de carga (mbar)	40
Transferencia de O2 (gO2/Nm3)	280

Suponiendo que la densidad de difusores es de 1 difusor por m2, y que cada difusor posee una transferencia de oxígeno de 280 gO2/h, a un caudal de 5 Nm3/h difusor, se

obtiene que cubriendo la totalidad de la superficie, la transferencia de oxígeno será de 24,9 kgO2/h, valor que se encuentra por debajo del establecido a partir del SOR.

Se adoptó una densidad de 1.7 difusores/m2 con la cual se trabajó a partir del gráfico presentado en el catálogo de los difusores, extrapolando para el caudal de diseño de los difusores, de manera de obtener el SOTE gráfico cuyo valor es de 6,5%/m2. El SOTE real se calculó multiplicando dicho valor por la profundidad del reactor biológico. A su vez, el caudal de aire se encuentra definido de la siguiente manera:

$$Qaire\ difusores = \frac{SOR}{Trasferencia\ de\ O_2 * SOTE\ real}$$

Una vez obtenido el caudal de aire que deberá aportarse, se deduce la cantidad de difusores a utilizar mediante el cálculo:

$$Cantidad\ de\ difusores = \frac{Qaire\ difusores}{Qdiseño\ del\ difusor}$$

Finalmente, la distribución de los difusores con respecto a la superficie ocupada por el reactor, estará dada por:

$$Densidad\ de\ difusores = \frac{Cantidad\ de\ difusores}{Área\ del\ reactor\ biológico}$$

Para la distribución de los difusores, se empleará un sistema de grilla fija. Los valores obtenidos respecto a la transferencia de oxígeno y el sistema de aireación, se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27: Requerimiento de O2 en el reactor y dimensionamiento del sistema de aireación

Dimensionado del Sistema de Aireación	Valor
RO (kgO2/día)	1533,7
SOR (kgO2/día)	2371.8
Cwat (mg(l)	8.6526
Qaire (m3/h)	355
SOTEreal (%)	52
Qaire difusores (Nm3/h)	680
Cantidad de difusores	136
Densidad de difusores por m2	2

b. Sedimentador Secundario

Seguido al reactor biológico, debe colocarse un Sedimentador ya que la separación líquido-sólido del efluente resulta crítica en la operación y eficiencia del sistema de lodos activados. El sedimentador secundario presenta dos funciones principalmente:

1. La sedimentación por gravedad de los SST del licor mezcla del efluente tratado
2. El espesamiento del lodo sedimentado, reduciendo su volumen previo a ser recirculado o purgado del sistema.

Para comenzar con el dimensionamiento del sedimentador, se considera que el mismo presenta una morfología circular, debido a contar con una mayor eficacia con respecto a los decantadores rectangulares.

La unidad de sedimentación empleada (Figura 26) cuenta con cuatro zonas bien diferenciadas: zona de alimentación central, zona de sedimentación, zona de salida y zona de fangos. El afluente ingresa al sedimentador por el sistema de alimentación central, mientras que el efluente clarificado se recoge en los bordes superiores de la unidad desde la cual fluye por gravedad hacia el canal colector del parque.

Mediante el barredor de fondo, los lodos sedimentados son dispuestos en una pequeña cámara desde la cual son recirculados hacia el reactor biológico, mediante el empleo de una bomba centrífuga capaz de impulsar líquido con viscosidad y densidad específica. La purga del lodo sedimentado se realiza de forma manual.

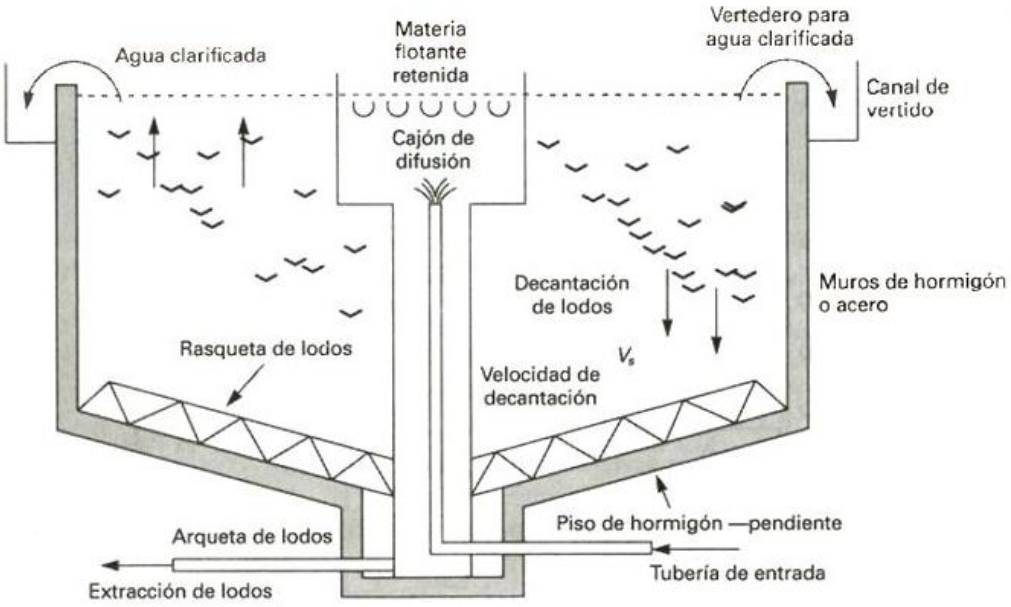


Figura 26: Sedimentador secundario circular con alimentación central. Fuente: Kiely, 1999.

Zona de sedimentación

Para determinar el área de sedimentación necesaria se adoptó un diámetro según los valores de referencia sugeridos por Metcalf&Eddy. Cuando el proceso de sedimentación es ideal, es decir, la decantación se realiza en ausencia de corrientes o turbulencia, la carga de sedimentación o tasa de desbordamiento, se define de la siguiente manera:

$$Cs = \frac{Q}{Asup}$$

Donde:

Cs: Carga superficial del sedimentador (m3/m2h)

Q: Caudal que ingresa al sedimentador (m3/h)

A sup: Superficie del sedimentador (m2)

Cabe destacar, que la velocidad de sedimentación de las partículas en el sedimentador, será igual a la carga superficial obtenida.

Por otro lado, adoptando un tiempo de permanencia (tp) de 3 horas según valores de referencia indicados por la bibliografía utilizada, es obtiene el volumen del sedimentador de la siguiente manera:

$$Volumen\ zona\ de\ sedimentación\ (m3) = Q * tp$$

Conociendo el volumen y área del sedimentador, se obtiene la altura de la zona de sedimentación hs (Tabla 28).

Tabla 28: Dimensionamiento de la zona de sedimentación del sedimentador secundario

Dimensionamiento Zona de Sedimentación		Valor
Adoptado	Diámetro del sedimentador (m)	10
	Tiempo de permanencia tp (h)	3
Volumen de sedimentación (m3)		256.35
Área del sedimentador Asup (m2)		78.54
Altura de sedimentación hs (m)		3.26

Zona de Fangos

Para la altura de la tolva correspondiente a la zona de fangos, se adopta una inclinación de 15° y una base correspondiente al tercio del diámetro del sedimentador. Por trigonometría (Figura 27), se obtiene el valor de la altura de la tolva:

$$h\ tolva = \frac{\phi}{3\ tang\ (\alpha)}$$

Donde:

h tolva: Altura de la tolva (m)

ϕ: Diámetro del sedimentador (m)

α: Inclinación de la tolva (°)

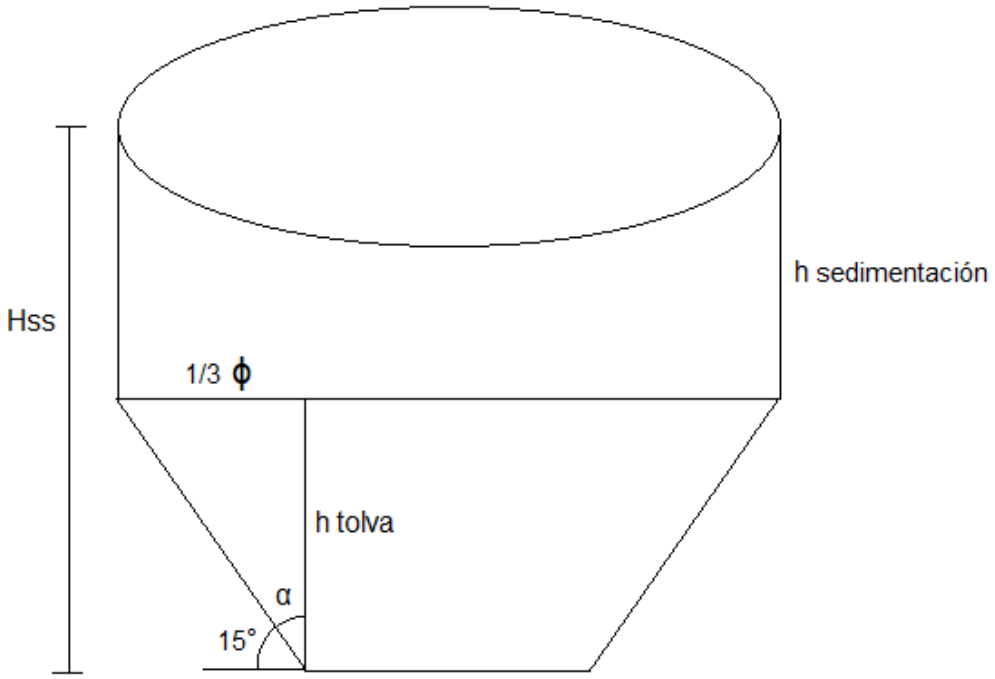


Figura 27: Referencias trigonométricas del dimensionamiento del sedimentador secundario.
Fuente: Elaboración propia

El volumen de la zona de fangos estará dado por la siguiente ecuación:

$$Volumen\ zona\ de\ fangos = \frac{h\ tolva}{3}\left(Asup + Ainf + \sqrt{Asup\ Ainf}\right)$$

Donde:

h tolva: Altura de la tolva (m)

Asup: Área superior de la tolva (m2), determinada por el área de la zona de sedimentación

Ainf: Área inferior de la tolva (m2), determinada a partir del tercio del diámetro del sedimentador

El volumen total del sedimentador secundario Vss, será la suma del volumen de sedimentación y del volumen de fangos:

$$Vss = Volumen\ sedimentación + Volumen\ fangos$$

La profundidad total del sedimentador secundario (Hss) será la suma de ambas alturas:

$$Hss = Altura\ sedimentación + Altura\ tolva$$

Se corrobora que la misma se encuentra dentro del rango establecido por Metcalf&Eddy.

Finalmente, se calcula la superficie necesaria para el drenaje o descarga de los lodos generados, a partir de la ecuación recomendada por Pérez L. (2005), quien a su vez recomienda un tiempo de descarga entre 1 a 2 horas:

$$Sdl = \frac{Asup}{4850\ tv}\sqrt{Hss}$$

Donde:

Sdl: Sección del tubo de descarga (m)

Asup: Superficie de la zona de sedimentación (m2)

Hss: Profundidad útil del sedimentador (m)

tv: Tiempo de vaciado (h).

Conociendo el valor de la sección de descarga, se calculó el diámetro que deberá presentar el tubo. Por último, se verificó que la velocidad de descarga de los lodos (vdl) cumple con los valores de referencia. Para calcularla se realizó el cociente entre el caudal de diseño y la sección de descarga:

$$v\ descarga\ de\ lodos: \frac{Q}{Sdl}$$

Los valores adoptados y resultados obtenidos se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29: Dimensionamiento de la zona de fangos del sedimentador secundario.

Dimensionamiento Zona de Fangos		Valor
Adoptado	Inclinación de la tolva (°)	15
	Tiempo de vaciado tv (h)	1
Altura de la tolva htolva (m)		0,9
Sección de descarga de lodos Sdl (m2)		0,033
Diámetro de cañería de descarga (cm)		20
Velocidad de descarga de lodos (m/s)		0,72
Área inferior de fangos Ainf (m2)		8,72
Volumen de la zona de fangos (m3)		34
Volumen total del sedimentador Vss (m3)		290,4
Profundidad total del sedimentador (m)		4,16

Recolección de los Lodos Decantados

Para la remoción de los lodos decantados, acumulados en el fondo del sedimentador, se utilizará un sistema de recolección a partir de un barredor de fondo, el cual funciona mecánicamente mediante un brazo barredor, ubicado en la superficie del sedimentador. Dicho barredor, atrae los lodos hacia la zona central de la tolva, donde se encuentra el canal de salida de los mismos para su purga y reincorporación en el reactor biológico.

Zona de Salida del Agua Clarificada

En los sedimentadores secundarios, el líquido puede abandonar la unidad por diferentes estructuras como vertederos, canaletas y orificios. De acuerdo al tipo de estructura implementado, se obtiene mayor eficiencia del proceso. El presente sedimentador contará con vertederos tipo Thompson, triangulares de 90°, simétricos y de pared delgada, los cuales se sujetarán mediante tornillos, como se muestra en la Figura 28.

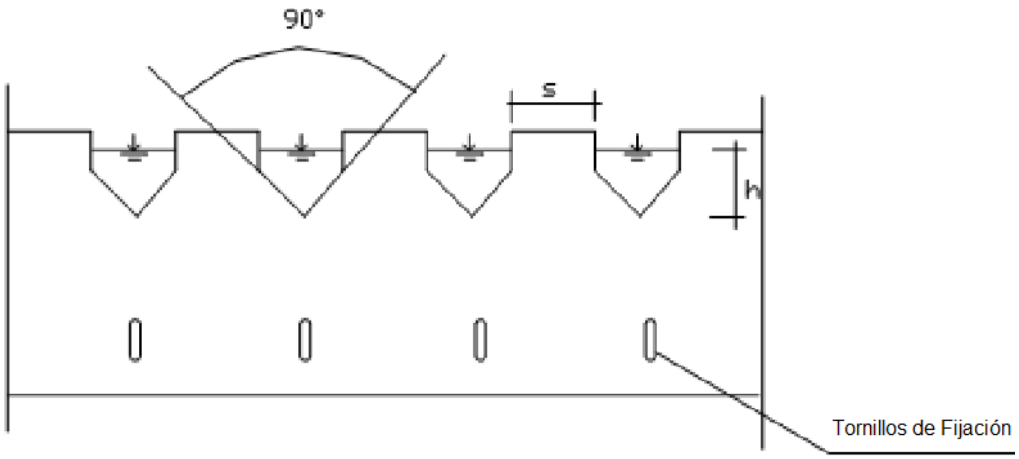


Figura 28: Vertedero triangular de 90° tipo Thompson. Fuente: Perez L. 2005

Adoptando la altura del vertedero, dentro del rango de 0.05 a 0.25 m establecido por Thompson, para el cual el coeficiente de descarga es C=0.593, se determina el caudal de paso del agua a través de los vertederos mediante la ecuación:

$$Qvertedero = 1.4\ h^{5/2}$$

En la anterior ecuación, la carga h se encuentra elevada a 5/2, lo cual indica el grado de sensibilidad del caudal, implicando variaciones drásticas del caudal con respecto a la carga. Dicha particularidad resulta de gran utilidad en sedimentadores, permitiendo descargas homogéneas y con un importante poder regulador.

Mediante trigonometría (Figura 29), se calculó el ancho total del vertedero (W) de la siguiente manera:

$$W = 2\ h\ tan\ 45°$$

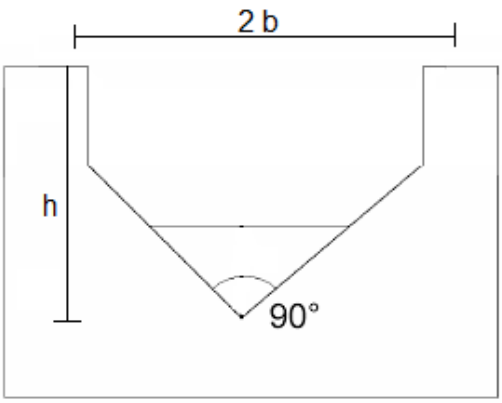


Figura 29: Relación trigonométrica para el dimensionamiento de vertedero triangular. Fuente: Elaboración propia

La longitud del vertedero de salida se calculó a partir de la ecuación presentada a continuación:

$$Lv = \frac{Q}{Cv}$$

Donde:

Lv: Largo del vertedero (m)

Q: Caudal de diseño (m3/h)

Cv: Carga de salida por el vertedero (l/m s)

Se asume un valor de 100 m3/m día para la carga de salida a través del vertedero, considerando la recomendación de ENOHSA, en la que Cv ≤ 120 m3/m día. Finalmente, el número de vertederos se obtiene de la ecuación:

$$Nv = \frac{Lv}{W}$$

Si bien el valor obtenido es de 51 vertederos, se adoptan 52 con el objetivo de disminuir la carga en cada uno de ellos y obtener mayor flexibilidad de operación.

Por otro lado, el sistema de recolección del agua clarificada consiste de un canal, el cual rodea toda la unidad de sedimentación en la zona superior. Dicho canal no puede funcionar ahogado, debiendo encontrarse libre para garantizar la carga constante y uniforme sobre los vertederos de salida.

La lámina de la canaleta de recolección se calcula a partir de la ecuación presentada a continuación:

$$h\max = \left(\frac{73\,Q}{B}\right)^{2/3}$$

Donde:

h max: Lámina máxima de agua en la canaleta (cm)

Q: Caudal de diseño (l/s)

B: Ancho de la canaleta (cm)

Una vez calculada la lámina de la canaleta (h max) se adopta una revancha de 6 cm con el objetivo de garantizar que la canaleta trabaje libre, obteniéndose finalmente la altura (hc) de la canaleta.

Los valores adoptados y obtenidos del dimensionamiento de la zona de salida se presentan a continuación en la Tabla 30.

Tabla 30: Dimensionamiento de la zona de salida del agua clarificada del sedimentador

Dimensionamiento Zona de Salida		Valor
Dimensionamiento de los vertederos		
Adoptado	Altura de vertederos (cm)	20
	Ángulo de los verderos (°)	90
	Carga de salida del vertedero Cv (m3/m.d)	100
Caudal en los vertederos (m3/s)		0,0122
Ancho de los vertederos W (cm)		40
Largo del vertedero Lv (m)		20,5
Cantidad de vertederos Nv		52
Dimensionamiento de la canaleta de recolección		
Adoptado	Ancho de la canaleta B (cm)	60
	Altura de revancha (cm)	6
Lámina máxima de agua en la canaleta (cm)		9,4
Altura total de la canaleta hc (cm)		15,4

Una vez que el agua tratada ingresa a la canaleta del sedimentador, por gravedad, es transportada hacia el canal colector del parque industrial.

4.2 Línea segregada (L2) del Efluente en el Proceso de Remojo

A continuación, se procederá a describir en detalle los métodos de cálculo, ecuaciones empleadas y equipos seleccionados para el diseño del tratamiento de la línea segregada (L2) en el proceso de remojo de la etapa de Ribera.

4.2.1 Sistema de Desbaste para el Efluente Segregado

Sistema de Rejas

La obtención de los valores de dimensionado del sistema de rejas de la línea segregada del efluente, se realizó siguiendo la misma metodología de procedimiento que la detallada en el sistema de desbaste de la línea segregada.

El caudal utilizado en este caso, es el medio de la línea principal, cuyo valor es de Qmed2 = 797 m3/día. Se utilizaron de igual manera, rejas de limpieza automática, con forma circular de las barras. En la Tabla 31, se muestra los valores obtenidos del dimensionamiento.

Tabla 31: Valores de dimensionamiento de las rejas de la línea segregada (L2)

Dimensionado de rejas	Valor
Ancho canal (m)	0,5
Altura total (m)	1,05
Longitud total del canal (m)	2,2
Longitud total de rejas (m)	2,1
Área total (m2)	0,5
Cantidad de barras circulares	15

Al igual que para la línea principal de tratamiento, se construirán dos sistemas idénticos de rejas, con el objeto de asegurar el pasaje continuo previo al proceso de ósmosis inversa, en caso de incidentes o en períodos de mantenimiento y limpieza de las mismas.

Tamiz Rotativo

Para el pretratamiento de la línea de corriente segregada, se optó por un tamiz rotativo de la marca “Defender”, modelo TR Defender Gama 40/50, con malla perforada de 2 mm de diámetro, para un caudal máximo de agua limpia de 35 m3/h, teniendo en consideración que el influente de la línea principal a pasar por el tamiz posee un caudal medio de 33 m3/h. Al igual que en el tamiz utilizado para el tratamiento de la línea principal, ese eligió un tamiz de malla perforada por sobre malla de rejilla, debido en la

eficiencia de retención de fibras largas (cabellos, cerdas, etc.). Las especificaciones técnicas del equipo se adjuntan en el Anexo II.

4.2.2 Proceso de Ultrafiltración (UF) para el Efluente Segregado

Para el sistema de UF utilizado como pretratamiento del agua de alimentación del sistema de OI, se optó por un equipo de la marca Culligan S.A., modelo ULF-60 (Figura 30). El mismo tiene la capacidad de operar en las condiciones que se encuentra el efluente de la etapa de remojo de la curtiembre, en cuanto a los parámetros de caracterización. Las especificaciones de las características del agua bruta a ingresar al sistema y las condiciones de funcionamiento se presentan en el Anexo II.

Figura 30: Sistema de ultrafiltración de la marca Culligan S.A. Fuente: Catálogo Culligan Ultrafiltración.

Los módulos UF utilizados, están realizados en PVDF-H, con excelente resistencia a un amplio rango de pH y a altas concentraciones de oxidantes como peróxidos e hipocloritos, lo que permite eliminar suciedad y bacterias con el lavado.

El líquido por filtrar atraviesa la membrana desde fuera hacia dentro, lo que asegura baja obstrucción, alta capacidad de carga de sólidos, elevada superficie filtrante y facilidad de lavado. Con un diámetro nominal de los poros de 0,03 µm, la UF elimina eficazmente agentes patógenos, la mayoría de los virus y bacterias. Además, a la misma presión de alimentación, las membranas de alta porosidad permiten un flujo más alto

que las tradicionales de tipo capilar. La estructura de las fibras con doble pared asegura excelente duración y resistencia a la rotura, incluso con frecuentes lavados químicos.

El sistema, totalmente automatizado, realiza lavados programados durante el ciclo de producción. Un control de presión diferencial detecta las pérdidas de carga excesivas provocadas por la obstrucción de las membranas y da inicio al ciclo de lavado.

El equipo se suministra con un cuadro eléctrico dotado de PLC que controla automáticamente los mandos y protecciones de los componentes (bombas dosificadoras, de lavado, etc.), la instrumentación de control y el mando manual por parte del operador de algunos dispositivos, como medidores de caudal o transductores de presión.

Las características técnicas del equipo de UF Culligan modelo ULF-60 se presentan a continuación, en la Tabla 32.

Tabla 32: Características técnicas del módulo de UF elegido.

Equipo de UF Culligan Modelo ULF-60		Valor
Conexiones hidráulicas	Entrada	DN 65
	Permeado	DN 65
Caudal máximo (m3/h)		38
Potencia (kW)		4
Superficie (m2)		4,9
Medidas	Largo (mm)	2300
	Ancho (mm)	2150
	Alto (mm)	2350
Concentración máxima Cl- (mg/l)		2000
Concentración máxima SST (mg/l)		100

4.2.3 Proceso de Ósmosis Inversa para el Efluente Segregado

Para el tratamiento de los cloruros de la línea segregada en el proceso de remojo se optó por un sistema de Ósmosis Inversa, el cual consta de tres equipos de la marca Culligan, modelo IW Evo 12 (Figura 31) dispuestos en paralelo. Los mismos son capaces de procesar un caudal nominal de 12.000 litros por hora de manera individual,

llegando a obtener un caudal de 36 m3/h conectando los tres equipos en paralelo, consiguiendo procesar el caudal de entrada.

Figura 31: Equipo de ósmosis inversa Culligan IW Evo 12. Fuente: Catálogo Culligan OI.

La tecnología de membranas de alta eficiencia elegida, funciona con una recuperación del 75% del caudal de alimentación, considerando un ingreso al sistema de 1500 ppm de SDT como NaCl. El sistema se encuentra formado por tuberías de materiales resistentes a la corrosión tales como AISI 316 de acero inoxidable, PVC y polietileno. El catálogo con especificaciones técnicas se adjunta en el Anexo II.

A continuación, en la Tabla 33, se presentan las características técnicas del módulo de OI elegido para el tratamiento, y las dimensiones totales del sistema conformado por los tres equipos idénticos en paralelo.

Tabla 33: Características técnicas del módulo de OI elegido y dimensiones totales del sistema

Equipo de OI Culligan Modelo IW Evo 12		Valor
Tuberías	Alta Presión	AISI316
	Baja Presión	PVC
Caudal Nominal (m3/h)		12
Cantidad de membranas		9
Potencia de la bomba (kW)		11
Conexiones	Alimentación (pulgadas)	2
	Producto (pulgadas)	2
	Rechazo (pulgadas)	1,5
Superficie (m2)		445,6
Medidas	Largo (m)	37,29
	Ancho (m)	11,95
	Alto (m)	19,4
Sistema de tres equipos de OI en paralelo		**Valor**
Caudal total (m3/h)		36
Superficie total (m2)		1336,8
Potencia total (kW)		33

Una vez finalizado el tratamiento por ósmosis inversa, el efluente de la línea segregada presenta las condiciones necesarias para ser conducida hacia el colector del parque, para luego ser volcado finalmente sobre el Río Luján.

- CAPÍTULO 6-

Tratamiento de los Lodos Generados

Como consecuencia del tratamiento del efluente, se obtendrá un líquido apto para su volcamiento final en el cuerpo de agua receptor, generándose a su vez, lodos con características particulares, dependiendo del proceso del que proviene. Se considera lodo a todo residuo líquido, semisólido o sólido generado a partir de los procesos primarios y secundarios del tratamiento.

Dichos lodos contienen, de manera más concentrada, las sustancias y partículas contaminantes del líquido residual, en sus estados originales o modificados por el proceso. Aun cuando se los denomina "lodos" o "fangos", los mismos pueden estar compuestos hasta en un 99% por agua.

Los residuos generados en los procesos enumerados a continuación, serán almacenados por separado, para luego ser tratados por una empresa externa y/o transportados hasta su disposición final:

1. Lodos generados en el tratamiento de la línea principal, en las etapas:
    a. Pretratamiento: Sistema de desbaste. Incluyen aquellos residuos sólidos finos y gruesos, separados en las rejas y el tamiz, siendo pelo residual el contenido principal del mismo.
    b. Tratamiento Primario: Sistema de Flotación por Aire Disuelto. Incluye los sólidos, grasas y aceites separados en dicho proceso.}
    c. Tratamiento Secundario: Sistema biológico por lodos activados y sedimentador. Dichos lodos contienen alto contenido de materia orgánica.

2. Lodos generados en el tratamiento de la línea segregada, en las etapas:
    a. Pretratamiento: Sistema de desbaste. Incluyen los residuos sólidos finos y gruesos, separados en las rejas y el tamiz.
    b. Proceso de Ultrafiltración: incluyen los lodos separados por el sistema.
    c. Proceso de Ósmosis Inversa: incluyen los lodos separados por el sistema, los cuales presentan alto contenido de cloruro.

A continuación, se presenta un posible tratamiento para los lodos generados en la cámara de remoción de cromo, por un lado, y en el tratamiento biológico combinado con los residuos sólidos separados en el pretratamiento y sistema DAF.

6.1 Lodos generados en la Cámara de Remoción de Cromo.

Durante el proceso de remoción del cromo presente en el efluente, llevado a cabo a partir de precipitación química se genera, una vez filtrado el efluente, un lodo con alto contenido de hidróxido de cromo Cr(OH)3, el cual puede ser tratado para su recuperación y reincorporación en el proceso productivo.

En el presente trabajo se propone la recuperación del cromo empleando ácido sulfúrico concentrado (MERCK) el cual debe ser adicionado hasta alcanzar un pH entre 1.0 y 3.0, de manera de obtener sulfato de cromo que pueda ser recirculado al proceso de curtido de pieles. Como principal ventaja de la implementación de un sistema de remoción y recuperación del Cromo, se destaca la minimización de la contaminación de aguas y la disminución de los costos de producción.

Para la propuesta planteada a continuación, se utilizaron como bibliografía principal los informes científicos: "*Aprovechamiento de Cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con Sulfato de Sodio"* (Ortiz N. E. y Carmona J. C.; 2015) y "*Tecnología para la remoción y recuperación del cromo trivalente en efluentes de curtido de pieles*" (Nacheva P. M., 2003).

a. Método de recuperación de Sal de Cromo por Ácido Sulfúrico

La sal de cromo – o sulfato básico de cromo – puede ser regenerada a partir del hidróxido de cromo precipitado, adicionando ácido sulfúrico. El precipitado de hidróxido de cromo obtenido a partir del agente precipitante de NaOH, se solubiliza completamente en la acidificación con H2SO4 hasta un pH de 1.0 a 3.0 según la reacción:

$$2\ Cr(OH)_3 + 3\ H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + H_2O$$

Como se mencionó anteriormente en el trabajo, se toma un porcentaje de 26.8% de lodos generados por cantidad de efluente procesado en el tratamiento de remoción de cromo por precipitación química. Utilizando un tiempo de mezcla rápida de 150 rpm durante veinte minutos, hasta alcanzar un pH de 1.0, se calcula el volumen del reactor de la siguiente manera:

$$Volumen\ reactor\ (m3) = Q\ efluente\ L1 * 0.268 * t\ mezcla$$

La dosis utilizada para llevar a cabo el proceso fue adoptada a partir de recomendaciones bibliográficas, cuyo valor es de 5 ml H2SO4 por cada gramo de Cr3+ y sabiendo la cantidad de Cr(OH)3 precipitado en el tratamiento del efluente, se obtiene la cantidad de H2SO4 por día que es necesario adicionar al sistema para la recuperación de la sal de cromo de la siguiente manera:

$$Cantidad\ H_2SO_4 \left(\frac{m3}{día}\right) = Dosis\ H_2SO_4 * Cantidad\ Cr(OH)_3\ precipitado$$

En la Tabla 34 se presentan los parámetros fundamentales para el dimensionamiento de la unidad para la recuperación del cromo en los lodos generados, con el fin de recuperar el mismo para su reutilización en el proceso productivo.

Tabla 34: Valores del dimensionamiento de la cámara de recuperación de cromo

Recuperación de Cromo en los Lodos Generados		Valor
Adoptado	Porcentaje del efluente precipitado de Cr(OH) (%)	26,8
	Dosis de H2SO4 (ml/gCr3+)	5
	Tiempo de reacción a velocidad 150 rpm (min)	20
	Altura del reactor (m)	2
Cantidad total de lodos generdos (m3/hora)		22,9
Volumen del reactor (m3)		7,63
Área del reactor (m2)		3,82
Diámetro del reactor (m)		2,2
Cantidad de Cr(OH)3 precipitado (kg/día)		1048
Cantidad de H2SO4 (m3/día)		5,24

Para obtener la agitación necesaria en el reactor, se emplea un agitador mecánico vertical de la marca Gramix S.A., modelo VTS. El mismo cuenta con una turbina axial de 4 palas y una velocidad de giro de 150 rpm. Se adjunta en el Anexo II la ficha técnica del mismo.

La acidificación del precipitado comprimido permite obtener un producto de alta concentración de cromo. Es posible lograr más de 98% de recuperación del cromo trivalente. La sal generada puede mezclarse con sal de cromo comercial, obteniéndose cuero de la calidad requerida a partir de las pruebas de encogimiento y resistencia a la flexión. La proporción recomendada por biografía para que la eficiencia sea óptimas es de 40:60 en peso de sal obtenida por sal comercial respectivamente.

Para separar finalmente la sal generada, se utiliza un decantador centrífugo de la marca SINO modelo GNL el cual cuenta con una máxima capacidad de 30 m3/h y opera una velocidad de 3900 rpm. En el Anexo II se adjunta la ficha técnica.

6.2 Alternativa Propuesta para el Tratamiento de los Lodos Generados.

Los lodos tal como salen de la planta de tratamiento, pueden presentar características nocivas – si son dispuestos en el ambiente receptor sin ningún tipo de tratamiento – o componentes que puedan ser recuperados para otro proceso, como es el caso de los lodos con alto contenido de cromo. Por tales razones, es necesario conocer la

composición de los mismos, de manera tal de optar por el mejor tratamiento y disposición final para cada lodo en particular. Además, como se dijo anteriormente, los barros presentan alto contenido de humedad, haciendo que el volumen de los mismos sea mayor, provocando un aumento en los costos de disposición final.

Los principales objetivos del tratamiento de barros son, por un lado, la estabilización biológica y por otro, el espesamiento o reducción del volumen. Dado un barro genérico, los procesos de tratamiento que se aplican previo a su disposición final son:

1. Concentración o espesamiento
2. Digestión
3. Acondicionamiento
4. Deshidratación y secado

A continuación, se presenta una propuesta para el tratamiento de los lodos provenientes de la planta diseñada anteriormente, en las etapas del tratamiento biológico, flotación por aire disuelto (DAF) y los sistemas de desbaste, de ambas líneas del efluente. La misma se basa en la producción de compostaje, para su utilización posterior en procesos agrícolas.

Para iniciar con el proceso de compostaje de los lodos, previamente los mismos requieren de acondicionamiento, de manera tal de cumplir con las condiciones necesarias. Debido al alto contenido de agua – superior al 95% en la mayoría de los casos – que poseen al salir de la unidad de tratamiento de efluente donde se generaron, en primer lugar, se hace pasar dichos lodos por un sistema de espesamiento, en el cual se reduce la humedad hasta niveles entre 50 y 70%, con los cuales el proceso de compostaje es eficiente.

A continuación, se procede a describir el tratamiento que reciben para su utilización como compost.

Proceso de Compostaje de Lodos

El compostaje es un proceso biooxidativo controlado de un sustrato orgánico heterogéneo sólido (Figura 35), que evoluciona pasando a través de una etapa termofílica y de liberación temporaria de fitotoxinas como consecuencia de la actividad metabólica de diferentes comunidades de microorganismos, obteniendo como

productos dióxido de carbono, agua y materia orgánica estabilizada conocida como compost (Zucconi y De Bertoldi, 1987).

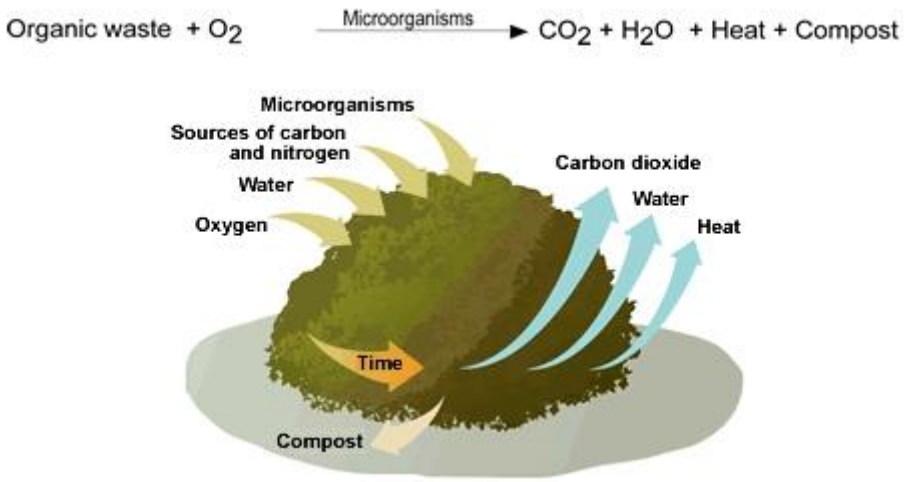


Figura 35: Proceso de Compostaje. Fuente: Agencia de Residuos de Cataluña, 2009.

Su objetivo es el aprovechamiento de los residuos, reduciendo su volumen, riesgo y heterogeneidad. Aplicado a la tierra, el compost final puede funcionar como un fertilizante de liberación lenta o como un acondicionador orgánico, dependiendo de sus características, físicas, químicas y biológicas. Dado que el proceso de compostaje es conducido por microorganismos y que el metabolismo predominante debe ser el aerobio; la temperatura, el contenido de oxígeno y humedad y la relación C/N son con frecuencia seleccionadas como variables de control (Haug, 1993).

Para el desarrollo de la propuesta, se utilizó como principal bibliografía de referencia, el informe científico "*Estudio del proceso de compostaje de los lodos producidos en la industria el curtido de pieles*" (N.F. Cuervo Figueredo; 2010).

Como se mencionó anteriormente, el lodo a ser tratado por este medio, será el proveniente del sistema de desbaste, DAF y el proceso biológico. A continuación, se presentan las características genéricas que contienen dichos lodos según la bibliografía consultada (Tabla 35).

Tabla 35: Caracterización del lodo generado en la planta de tratamiento de efluentes líquidos de la Curtiembre (N.F. Cuervo Figueredo; 2010)

Caracterización del Lodo generado en PTEL de la Curtiembre	
Parámetro	Valor
Humedad %	60-70
Materia Orgánica %	65-75
Nitrógeno total %	8.5
CO Total %	36-42
CO Biodegradable %	30
pH	9-10

Cabe destacar que además de las características descriptas en la Tabla anterior, el lodo presenta alto contenido de pelo procesado, componente necesario para el proceso de compostaje propuesto. Se contempla la opción de añadir al tratamiento, los pelos separados en los residuos sólidos sin curtir, los cuales presentan una relación carbono-nitrógeno muy baja, de gran utilidad como aporte nitrogenado en procesos de compostaje.

De la caracterización del lodo-pelo se destaca su elevado contenido de materia orgánica y nitrógeno con valores entre 65 y 75% y entre 7 y 9% respectivamente, valores de pH entre 9 y 11, ausencia de metales pesados y altas concentraciones de calcio y sodio con valores entre 1.5 y 2.5%. Se parte del hecho de que este residuo no se biodegrada por sí mismo dadas las fuertes condiciones alcalinas.

Pilas de Compostaje

El método de compostaje a utilizar es un proceso aerobio en sistema de pilas con volteo manual. El mismo consta de pilas con base circular, a las que se les incorpora en promedio entre 1260 y 1320 Kg de lodo-pelo. A continuación, en la Tabla 36, se presentan las principales características de las pilas.

Tabla 36: Características principales de las pilas de compostaje

Proceso de Compostaje Propuesto	
Material estructurante: Viruta de Madera Relación volumétrica 1:1	
Inóculo: PTAR	
Dimensiones de las Pilas	Diámetro: 2.4m
	Altura: 1m
	Volumen: 4.52m3
Cantidad de Lodo-Pelo utilizado por Pila	1320 kg
Período de maduración: 10 semanas	

Como material estructurante se utiliza viruta de madera, en relación de 1:1 con respecto a lodo-pelo, con el fin de evitar la compactación del material, incrementar la superficie de contacto del sustrato con el inóculo y aumentar la porosidad para facilitar el intercambio gaseoso.

Con respecto al inóculo, se utilizan lodos activados obtenidos de una Planta de tratamiento de aguas residuales urbanas (PTAR). En la Tabla 37 se presenta la caracterización cuantitativa de microorganismos que puede llegar a encontrarse en un lodo proveniente de PTAR. Es probable contar con una gran variedad de bacterias que consigan desempeñar diferentes funciones de acuerdo a su metabolismo microbiano a lo largo del proceso de compostaje del residuo lodo-pelo.

Tabla 37: Caracterización microbológca cuantitativa de lodos de PTAR

Información microbiológica del Inóculo Lodos PTAR		
Bacterias Heterotróficas	$1.7x10^8$	Método: Filtración por Membrana
Coliformes totales	$3.1x10^6$	
E. coli	$1.1x10^5$	Unidad: UFC/100ml

La higienización del compost, se da cuando el compost mantiene temperaturas superiores a los 55ºC durante un determinado intervalo de tiempo. En el proceso detallado, la etapa termofílica se extiende aproximadamente a 10 semanas, debido a la naturaleza proteica y la estructura compleja de la queratina del pelo. El compost final obtenido en la pila se caracteriza por un elevado contenido de materia orgánica y nitrógeno, por ser un producto estable, tener un grado de madurez adecuado y un alto valor agronómico.

- CAPÍTULO 7 -

Conductos y Anexos de la Planta

7.1 Conductos entre las distintas unidades de la Planta

La mayoría de las circulaciones entre las distintas unidades de tratamiento serán por gravedad, tanto para la línea segregada como para la línea principal. El efluente de esta última obtendrá la fuerza necesaria para ser transportada por gravedad hasta el conducto colector del parque pilar, a través de un sistema de bombeo desde la cámara de homogeneización, donde se eleva a una altura determinada.

Con el fin de mantener una diferencia de altura tal que el efluente circule a través de las distintas unidades correctamente, se contempla que los mismos deben ser enterrados a distintos niveles.

De esta forma, el agua residual a tratar que requiera de bombeo será únicamente en los siguientes procesos de la línea principal:

- Saliendo de la cámara de compensación hacia el sistema de flotación
- En el sistema de flotación por aire disuelto
- En la recirculación de los lodos separados en el sedimentador secundario hacia el reactor biológico de lodos activados

Los canales de conducción serán cerrados, de manera de minimizar los riesgos a la salud humana y medio ambiente. El material a utilizar para las cañerías es el cloruro de polivinilo (PVC), el cual es comúnmente utilizado para el transporte de aguas residuales. Dicho material es recomendable debido a su alta resistencia a la corrosión, su baja pérdida de carga comparada con otros materiales, la lisura de su superficie interior, su

ligereza – facilitando el transporte, manipulación e instalación -, y su bajo costo, resultando óptimo para conducciones donde la temperatura no supere los 50°C.

Para aumentar la eficiencia de las conducciones, de manera de evitar bombeos innecesarios que eleven el consumo energético, se dimensionarán las mismas manteniendo distancias cortas, evitando cambios de dirección y accesorios innecesarios, que puedan aumentar la pérdida de carga.

En cuanto a los accesorios a incorporar, se contará con accesorios reductores/ampliadores, en los casos en que exista una diferencia de diámetro entre los conductos o unidades, accesorios conectores y separadores de conductos, codos, cruz y válvulas de control, compuertas y antirretorno al ingreso de cada una de las unidades, para evitar que el flujo circule en sentido contrario. No se contempla en el presente trabajo, una descripción detallada de los mismos.

A continuación, se describirán el cálculo realizado para adoptar los diámetros de cañería necesarios en los distintos tramos de conducciones.

7.1.1 Conducciones por gravedad

Para el caso de las conducciones cuya fuerza impulsora es la gravedad, considerando los canales cerrados, se adoptó que los mismos se encuentren parcialmente llenos, comenzando por aplicar la fórmula de Manning, para iniciar con los cálculos:

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

Donde:

v: Velocidad media del agua (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

Rh: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente del gradiente hidráulico (adimensional)

Para cañerías cuyo material es PVC, se utiliza un valor del coeficiente de rugosidad de Manning de 0,011. Por su parte, se adopta un valor para la pendiente del gradiente

hidráulico de 0,5%, siendo 0,3% la mínima recomendable. El radio hidráulico se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Rh = \frac{A}{Pm}$$

Donde:

A: Área transversal del flujo (m2)

Pm: Perímetro mojado (m)

Los parámetros hidráulicos con sección parcialmente llena (Figura 33), tales como el área hidráulica y el perímetro mojado, pueden calcularse por trigonometría con las siguientes expresiones:

$$A = \frac{1}{8}(\theta - sen\ \theta)\ D^2$$

$$Pm = \frac{1}{2}\ \emptyset\ \theta$$

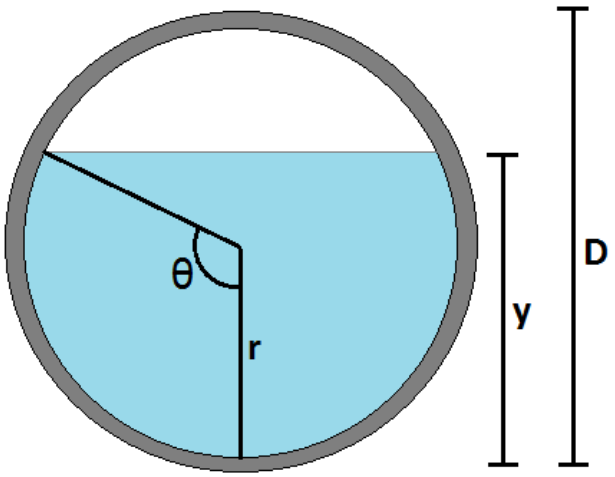


Figura 33: Parámetros geométricos de la sección transversal. Fuente: Elaboración propia

Combinando las expresiones anteriormente presentadas, el radio hidráulico queda definido de la siguiente manera:

$$Rh = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{sen\ \theta}{\theta}\right) D$$

Suponiendo que el porcentaje de llenado en la tubería es de 75%, lo que implica un ángulo 120°, se obtienen las siguientes relaciones:

$$A = 0{,}6319\ D^2$$

$$Pm = 2{,}0944\ D$$

$$Rh = 0.3017\ D$$

Dichas relaciones, pueden obtenerse a su vez a partir de la Tabla AI-1 del Anexo I. Según la bibliografía consultada, las velocidades de circulación deben ser lo suficientemente altas para evitar acumulación de los sedimentos en la tubería, por tales motivos, es recomendable tomar una velocidad entre 0,60 a 0,75 m/s (Orellana, 2005). Considerando una velocidad de 0.65 m/s, se obtiene el área de la sección mojada de la siguiente manera:

$$Area\ mojada = \frac{Q}{v}$$

Donde se considera el caudal correspondiente a cada tramo entre las distintas unidades:

- Por un lado, para la línea principal del efluente, es necesario tener en cuenta que previo al tanque de ecualización, el efluente se moverá a través de las tuberías con el caudal de la salida del proceso productivo y se considerará en dichos tramos, el caudal máximo al que circulan los mismos.
- Luego de la cámara de compensación, se adopta el caudal de diseño para llevar a cabo los cálculos.
- Por su parte, para la línea segregada en el proceso de remojo de la etapa de ribera, se considera el caudal de diseño, el cual se mantiene constante todo el tiempo.

Una vez obtenida las áreas para los distintos tramos a considerar, se procede a calcular el diámetro a partir de la ecuación que relaciona el mismo con el área. Con la Tabla AI-2 del Anexo I se obtuvo el diámetro normalizado (DN) para tuberías de PVC.

A continuación, en la Tabla 38 se presentan los valores adoptados y obtenidos para los distintos tramos de conducciones por gravedad.

Tabla 38: Dimensionamiento de los conductos por gravedad para los distintos tramos de la planta de tratamiento

Dimensionamiento conducciones por gravedad		
Adoptado	Velocidad media del flujo (m/s)	0,65
	Coeficiente de rugosidad de Manning n	0,011
	Pendiente S (%)	0,5
	Porcentaje de llenado de la cañería (%)	75
Línea Principal previa a la ecualización	*Tramo I-1: Proceso Productivo - Sistema de Rejas*	
	Tramo I-2: Sistema de Rejas - Tamiz Rotativo	
	Tramo I-3: Tamiz rotativo - Cámara de Compensación	
	Caudal máximo (m3/h)	136,7
	Área hidráulica transversal (m2)	0,058
	Diámetro obtenido de diseño D (mm)	304
	Diámetro nominal DN (mm) clase 4	355
Línea Principal luego de ecualización	*Tramo I-4: Cámara de Compensación - Sistema DAF*	
	Tramo I-5: Sistema DAF - Cámara de Sulfuros	
	Tramo I-6: Cámara de Sulfuros - Cámara de Cromo	
	Tramo I-7: Decantadores Centrífugos - Reactor Biológico LA	
	Tramo I-8: Reactor Biológico LA - Sedimentador Secundario	
	Caudal de diseño (m3/h)	85,4
	Área hidráulica transversal (m2)	0,0365
	Diámetro obtenido de diseño D (mm)	240
	Diámetro nominal DN (mm) clase 4	250
Línea Segregada en el Proceso de Remojo	*Tramo II-1: Proceso Remojo - Sistema de Rejas*	
	Tramo II-2: Sistema de Rejas - Tamiz Rotativo	
	Tramo II-3: Tamiz rotativo - Ultrafiltración	
	Tramo II-4: Ultrafiltración - Ósmosis Inversa	
	Tramo II-5: Ósmosis Inversa - Canal Efluente Tratado L1	
	Caudal de diseño (m3/h)	33,2
	Área hidráulica transversal (m2)	0,0142
	Diámetro obtenido de diseño D (mm)	149
	Diámetro nominal DN (mm) clase 4	160
Otros Tramos con Conductos Diferenciados	*Tramo D-1 Cámara de Cromo-Decantadores Centrífugos*	
	Caudal de diseño (m3/h)	42,7
	Área hidráulica transversal (m2)	0,0182
	Diámetro obtenido de diseño D (mm)	170
	Diámetro nominal DN (mm) clase 4	180
	Tramo D-2: Entrada - Salida del Reactor Biológico	
	Caudal de diseño (m3/h)	117
	Área hidráulica transversal (m2)	0,05
	Diámetro obtenido de diseño D (mm)	280

Diámetro nominal DN (mm) clase 4	315
Tramo D-3: Sedimentador Secundario- Colector PIP	
Caudal de diseño (m3/h)	480
Área hidráulica transversal (m2)	0,0342
Diámetro obtenido de diseño D (mm)	233
Diámetro nominal DN (mm) clase 4	250
Tramo D-4: Recirculación-Purga Lodos desde Sedimentador	
Caudal de diseño (m3/h)	36,3
Área hidráulica transversal (m2)	0,0155
Diámetro obtenido de diseño D (mm)	156
Diámetro nominal DN (mm) clase 4	160

7.1.2 Conducciones por impulsión

En ciertos tramos de la planta, es necesario la incorporación de bombas para la impulsión para el efluente a través del sistema. A continuación, se presentan dichos tramos y las características de las bombas y conductos en cada caso. Los cálculos se realizaron utilizando las mismas expresiones que para los conductos por gravedad, con la salvedad de que se adoptó una velocidad de 2m/s, debido a que para el diseño de conducciones por bombeo para líquidos poco viscosos se recomiendan velocidades entre 1,4 a 2,4 m/s.

1. Impulsión desde la Cámara de Compensación hacia el Sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF).

Uno de los objetivos de la cámara de compensación es lograr un caudal constante del efluente en las siguientes etapas de depuración, independientemente del nivel de producción u horario del día. Para ello, el agua sale de la cámara a través de un sistema de impulsión proporcionado por una bomba centrífuga sumergible para aguas residuales Marca Feiliby, modelo 150-100-10-7.5 cuyas características técnicas se detallan a continuación en el Anexo II. A continuación, en la Tabla 39 se presenta el dimensionamiento del conducto por impulsión desde la cámara de homogeneización y los detalles fundamentales de la bomba seleccionada.

Tabla 39: Dimensionamiento de conducto por impulsión desde la cámara de homogeneización

Conducción por impulsión desde el ecualizador		
Caudal a impulsar (m3/h)		85,4
Bomba	Capacidad de flujo (m3/h)	100
	Diámetro de salida DN (mm)	150
	Altura (m)	10
	Potencia (kW)	7,5
Área hidráulica (m2)		0,1186
Diámetro obtenido D (mm)		137
Diámetro nominal DN (mm) Clase 10		160

Debido a que el diámetro nominal de salida de la bomba es menor al diámetro del conducto, será necesario colocar un accesorio ampliador de diámetro entre ambos.

2. Impulsión dentro del Sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF) para recirculación

Parte del caudal extraído del tanque de flotación por aire disuelto, es recirculado hacia el tanque de saturación, donde se junta con el caudal a tratar por el sistema. Se optó por colocar una bomba centrífuga de impulsión para aguas residuales marca APK modelo 200QJ80-33/3, la información técnica se detalle en el Anexo. En la Tabla 40 se presenta el dimensionamiento del conducto por impulsión en el sistema DAF y los detalles fundamentales de la bomba seleccionada.

Tabla 40: Dimensionamiento del conducto por impulsión desde el sistema DAF

Conducción por impulsión en el sistema DAF		
Caudal a impulsar (m3/h)		74
Bomba	Capacidad de flujo (m3/h)	80
	Diámetro de salida DN (mm)	114
	Altura (m)	33
	Potencia (kW)	13
Área hidráulica (m2)		0,1186
Diámetro obtenido D (mm)		127
Diámetro nominal DN (mm) Clase 6		140

En cuanto a los accesorios a utilizar en este tramo, se dispondrá de una válvula de control previa a la bomba y, al igual que en el caso anterior, resulta necesario la incorporación de un accesorio ampliador.

3. Impulsión de los Lodos separados en el Sedimentador Secundario para la recirculación hacia el Reactor Biológico de Lodos Activados

Como anteriormente se describió, parte de los lodos separados en el sedimentador secundario, deben ser recirculados al reactor biológico de modo de mantener la concentración y edad de los mismos. El sistema de impulsión a instalar en este caso, requiere de una bomba que funcione eficientemente con lodos, debido a que los mismos resultan ser más densos y viscosos que el agua. Se optó por una bomba centrífuga para lodos de la marca Feiliby, modelo 65WK37-13-3, los detalles técnicos se presentan en el Anexo II, mientras que los resultados obtenidos y referencias fundamentales de la bomba se detallan en la Tabla 41.

Tabla 41: Dimensionamiento del conducto por impulsión de los Lodos Activos

Conducción por impulsión de los Lodos Activos		
Caudal a impulsar (m3/h)		32,1
Bomba	Capacidad de flujo (m3/h)	37
	Diámetro de salida DN (mm)	65
	Altura (m)	13
	Potencia (kW)	3
Área hidráulica (m2)		0,004
Diámetro obtenido D (mm)		84
Diámetro nominal DN (mm) Clase 6		90

Al igual que en el caso anterior, se incorporará una válvula de control previa a la bomba, y un accesorio ampliador de diámetro a la salida de la misma.

7.2 Salas Anexas de la Planta

A continuación, se describirán las salas anexas a la planta de tratamiento, las cuales son fundamentales para el correcto funcionamiento y control de los procesos llevados a cabo en las distintas operaciones unitarias.

7.2.1 Sala de Sopladores de Aire

Algunos de los procesos de depuración del efluente, requieren del suministro de cierta cantidad de aire para poder operar. A continuación, en la Tabla 42 se presentan los distintos caudales de aires requeridos por proceso.

Tabla 42: Requerimiento de aire por proceso

Procesos que requieren de aireación	Caudal de Aire (m3/h)
Sistema DAF: Tanque de Saturación	3,3
Tratamiento de Sulfuros por Oxidación	5126,4
Reactor Biológico de Lodos Activados	680
Caudal de Aire Total Requerido por la Planta	5810 m3/h (97 m3/min)

Para el suministro del total de aire requerido por la planta, se dispondrá de una sala de sopladores, cuyas paredes se adaptarán de manera que se encuentren apropiadamente insonorizadas. La sala se encontrará en una ubicación estratégica entre las distintas unidades que requieren de aireación, de modo de facilitar la conducción de aire hacia las mismas.

Dentro de la sala, se colocarán tres sopladores de aire idénticos en paralelo, con un caudal de aire de 35m3/min cada uno, sobrepasando el requerimiento total de planta, a fin de contar con uno de reemplazo, en caso de ser necesario. La sala tendrá una superficie de 6m2.

7.2.2 Centro de Monitoreo

En la presente sala se realizará el control de las distintas operaciones y tareas a realizar, llevando a cabo el monitoreo de las unidades y parámetros de control por medio de un sistema computarizado. Desde dicha sala, se ejecutará la supervisión con profesionales

especializados de manera de facilitar el correcto accionar, en caso de ser necesario. Además, se contará con un registro de las actividades de la planta. La sala tendrá una superficie de 9m2.

7.2.3 Sala de Control y Laboratorio

El laboratorio de control es fundamental para el análisis del efluente en diferentes puntos críticos, de manera de conocer las condiciones de entrada y salida del mismo. Esto permite garantizar el correcto funcionamiento de las unidades, pudiendo detectar factores que puedan representar un problema, así como corroborar las condiciones de salida requeridas por la normativa aplicable y los parámetros operativos de los distintos tanques. El laboratorio tendrá una superficie de 15m2.

7.2.4 Almacenamiento de Productos Químicos

Se dispondrán de tanques para el almacenamiento de los productos químicos utilizados en las distintas operaciones unitarias de la planta. Los tanques serán construidos con material PVC, debido a la alta resistencia a la corrosión que posee, siendo un material inerte el cual no reacciona con fluidos. El volumen de los tanques será proporcional a la cantidad de químico que resulte necesario suministrar en cada caso. Se contará con las condiciones de seguridad necesarias, de manera de prevenir posibles contingencias, tales como canaletas en caso de posible derrame.

- CAPÍTULO 8-

Cómputos y Presupuestos del Proyecto

El análisis de cómputos y presupuestos del proyecto es fundamental para analizar la viabilidad y sostenibilidad del mismo. A continuación, se describirá el presupuesto base considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento de la planta, a partir del cual se realizará un análisis de factibilidad.

8.1 Inversión Inicial

Los costos de inversión inicial representan el capital necesario para la construcción y puesta en funcionamiento de la planta de tratamiento de efluente líquidos diseñada. Para el análisis y estimación de la inversión inicial de la planta, se tuvieron en cuenta diversos aspectos tales como actividades de movimiento de suelos para las unidades enterradas o semienterradas, estructuras de hormigón y otros materiales necesarios, mano de obra, adquisición e instalación de equipos, recurso humano, planificación, costos legales y administrativos.

Para un mayor entendimiento y análisis de distribución de los costos, se diferenciaron los mismos entre las distintas etapas por las que va recorriendo el efluente para su depuración dentro de la planta, así como también, las diferentes salas anexas y otros gastos propios de la etapa de construcción del proyecto. Se describen los de costos de inversión en la Tabla 43, presentada a continuación.

La inversión inicial del proyecto de la planta de tratamiento es de USD 732.519, estimado a partir de presupuestos solicitados a diversos proveedores y páginas web de compra online de equipamiento industrial.

Tabla 43: Costos estimativos de la inversión inicial del proyecto

Ítem	Descripción de los Costos de Inversión	Un.	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Subtotal (USD)	Total (USD)
1	MOVIMIENTO DE SUELOS					15188,4
1.1	Excavación para conducciones	m3	12	15,7	188,4	
1.2	Excavación para base de estructuras y entierro de unidades	m3	600	25	15000	
2	SISTEMA DE DESBASTE					23.280
2.1	Provisión y colocación de sistema de rejas L1	un	1	800	800	
2.2	Provisión y colocación de sistema de rejas L2	un	1	800	80	
2.3	Provisión y colocación de tamiz rotativo L1	un	1	11.200	11.200	
2.4	Provisión y colocación de tamiz rotativo L2	un	1	11.200	11.200	
3	CÁMARA DE HOMOGENEIZACIÓN					36700
3.1	Estructura de hormigón de la cámara	m2	412	85	35020	
3.2	Agitador Mecánico Vertical	un	1	1680	1680	
4	SISTEMA DE FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF)					34683
4.1	Estructura de hormigón de la cámara de flotación	m2	59	85	5015	
4.2	Estructura de hormigón del tanque de saturación	m2	6,5	85	552,5	
4.3	Estructura de hormigón de la cámara de reciclo	m2	9	85	765	
4.4	Barredor Superficial	un	1	28350	28350	
5	CÁMARA DE REMOCIÓN DE SULFUROS					24120
5.1	Estrucutra de hormigón del tanque	m2	242	85	20570	
5.2	Tubo perforado PVC para suministro de aire	un	1	600	600	
5.3	Dosificador para MnSO4	un	1	550	550	
5.4	Tanque de Almacenamiento MnSO4	un	1	2400	2400	
6	CÁMARA DE REMOCIÓN DE CROMO					113210
6.1	Estructura de hormigón del tanque	m2	44	85	3740	
6.2	Agitador industrial de eje paralelo	un	1	1360	1360	
6.3	Decantador Centrífugo	un	2	52580	105160	
6.4	Dosificador para NaOH	un	1	550	550	
6.5	Tanque de Almacenamiento NaOH	un	1	2400	2400	
7	REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS					34663
7.1	Estructura de hormigón del reactor	m2	355	85	30175	
7.2	Difusores de aire	un	136	33	4488	
8	SEDIMENTADOR SECUNDARIO					55127
8.1	Estructura de hormigón del tanque	m2	181	85	15385	
8.2	Puente barredor perimetral	un	1	39742	39742	
9	SISTEMA DE ULTRAFILTRACIÓN					58200

9.1	Provisión y colocación del sistema UF	un	1	58200	58200	
10	ÓSMOSIS INVERSA					126480
10.1	Provisión y colocación del sistema de OI	un	3	42160	126480	
11	TRATAMIENTO DE LODOS					37928
11.1	Estructura de hormigón reactor para recuperación de Cr	m2	18	85	1530	
11.2	Dosificador para H2SO4	un	1	550	550	
11.3	Tanque de almacenamiento H2SO4	un	1	2400	2400	
11.4	Agitador mecánico vertical	un	1	1040	1040	
11.5	Decantador Centrífugo	un	1	32100	32100	
11.6	Despeje y nivelación de superficie para pilas de compostaje	m2	14	22	308	
12	BOMBAS Y CAÑERÍAS					15688
12.1	Provisión e instalación de bombas centrífugas	un	3	2420	7260	
12.2	Cañerías PVC DN 355 Clase 4	m	11	30	330	
12.3	Cañerías PVC DN 250 Clase 4	m	42	26	1092	
12.4	Cañerías PVC DN 160 Clase 4	m	54	21	1134	
12.5	Cañerías PVC DN 160 Clase 10	m	8	26	208	
12.6	Cañerías PVC DN 140 Clase 6	m	6	23	138	
12.7	Cañerías PVC DN 90 Clase 6	m	10	15	150	
12.8	Cañerías PVC aireación	m	30	96	2880	
12.9	Accesorios varios (Válvulas, Codos, etc.)	un	52	48	2496	
13	SALAS ANEXAS					62342
13.1	Construcción de sala para UF y OI	un	1	614	614	
13.2	Construcción y equipamento del laboratorio	un	1	18000	38000	
13.3	Construcción y adecuación de paredes de sala de sopladores	un	1	870	870	
13.4	Sopladores de Aire	un	4	2627	10508	
13.5	Construcción y equipamiento de la sala de monitoreo	un	1	12350	12350	
14	VARIOS					92300
14.1	Elaboración del proyecto de ingeniería	GI	1	4300	4300	
14.2	Informe técnico y plano de obra	GI	1	1600	1600	
14.3	Limpieza periódica y final de obra	GI	1	900	900	
14.4	Capacitaciones	GI	1	1000	1000	
14.5	Profesionales, obreros y auxiliares de construcción	GI	11	83000	83000	
14.6	Trámites legales	GI	1	1500	1500	
15	ENTREGA FINAL					2610
15.1	Puesta en marcha	GI	1	1750	1750	
15.2	Revisión y ajustes	GI	1	860	860	
COSTO DE INVERSIÓN TOTAL						732.519

8.2 Operación y Mantenimiento

Para el análisis de los costos de operación y mantenimiento que requiere la planta para su óptima operación, se consideraron por un lado, los gastos propios de la mano de obra, entre los que se encuentra el personal para operar la planta, los profesionales a cargo de controlar y supervisar y el personal de limpieza, por otro lado, los costos derivados de los productos químicos y demás insumos requeridos para los procesos, los costos de mantenimiento, documentación y otros variables o esporádicos que pueda haber.

A continuación, en la Tabla 44, se describen los costos estimados de para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

El costo total anual asociado a la operación y mantenimiento del proyecto de la planta de tratamiento es de USD 510.238, estimado a partir de presupuestos solicitados a proveedores de los insumos, consulta a profesionales y operarios, y otros extraídos de páginas web.

Tabla 44: Costos estimativos de la operación y mantenimiento de la planta

Ítem	Descripción de los Costos de Operación	Un.	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Mensual (USD)	Costo Anual (USD)	Total (USD)
1	RECURSOS HUMANOS						79.200
1.1	Profesional a cargo de la planta	un	1	2000/mes	2000	24000	
1.2	Personal técnico de la planta	un	2	800/mes	1600	19200	
1.3	Operarios de la planta	un	3	600/mes	1800	21600	
1.4	Personal de limpieza y mantenimiento	un	2	600/mes	1200	14400	
2	PRODUCTOS QUÍMICOS REQUERIDOS						321.538
2.1	Sulfato de manganeso MnSO4	kg/día	820	410/ton	10080	120960	
2.2	Soda cáustica NaOH	kg/día	1250	450/ton	16200	194400	
2.3	Ácido Sulfúrico	m3/día	5,5	312/tambor (100m3)	514,8	6177,6	
3	COSTOS VARIABLES Y ESPORÁDICOS						109.500

3.1	Mantenimiento de equipos, administrativos y legales	un	1	9125/mes	9125	109500	
TOTAL ANUAL							510.238

Por último, se realizó un análisis de los costos derivados del consumo energético de los distintos equipos. Utilizando el simulador de consumo proporcionado por EDENOR, se estimó el precio en dólar por kW consumido, el cual es de 0.086 USD/kW. A partir de dicho valor, se calculó el costo por consumo energético aproximado de la de la planta, el cual se presenta en la Tabla 45.

El costo total anual derivado del consumo energético de la planta de tratamiento es de USD 56.302, estimado a partir de la potencia de cada uno de los proyectos brindados por sus proveedores o catálogos, y el precio estimado de kW servido por EDENOR.

Tabla 45: Costo estimativo asociado al consumo energético de la planta

Descripción de los Equipos con Consumo Energético	Potencia (kw)	Cant.	Consumo Mensual (kW/mes)	Costo Mensual (USD)	Costo Anual (USD)
Motoreductor Rejas de Limpieza Automática	0,4	2	576	55	664
Tamiz Rotativo L1	0,75	1	540	52	622
Tamiz Rotativo L2	0,25	1	180	17	207
Difusores de Aire	0,015	136	1468,8	141	1.692
Dosificador de reactivo	0,3	3	648	62	746
Soplador de aire	0,75	4	2160	207	2.488
Decantador centrífugo	3,1	3	6696	643	7.714
Barredor DAF	0,43	1	309,6	30	357
Barredor Sedimentador 2°	0,56	1	403,2	39	464
Sistema UF	4	1	2880	276	3.318
Sistema OI	11	3	23760	2281	27.372
Bombas centrífugas	1,5	3	3240	311	3.732
Agitador mecánico	1,3	3	2808	270	3.235
CONSUMO ENERGÉTIDO MENSUAL (kW/mes)					45.670
COSTO TOTAL ANUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO (USD/año)					52.611

Habiendo obtenido los costos anuales del consumo energético, por un lado, y de la operación y mantenimiento de la planta por otro, se estima que el gasto anual total de la planta de tratamiento de efluentes líquidos y lodos generados, es de 562.850 USD.

8.3 Costos del tratamiento tercerizado del efluente líquido

El precio estimado para tratar 1m3 de efluente líquido, según la información aportada por la empresa que brinda el servicio de tercerización del tratamiento de los efluentes generados por una industria de curtiduría, es de 1,22 USD/m3.

Suponiendo una tasa de generación de efluentes líquidos por parte de la industria en cuestión de 2051 m3/día, los costos mensuales de utilizar el servicio de tercerización del tratamiento es estimativamente 75.070 USD/mes, lo que significaría anualmente un gasto de 900.800 USD.

8.4 Análisis de Factibilidad

Comparando el costo total anual estimado de la planta de tratamiento de los efluentes líquidos, cuyo valor es de USD 562.850 en contraste con la tercerización del efluente, cuyo valor es de USD 900.800, se obtiene un ahorro del 37,5% de los costos por parte de la planta de tratamiento. Con el ahorro anual generado, se recuperaría en menos de tres años, la inversión inicial de USD 732.519 que requiere la planta.

Por lo tanto, resulta favorable la inversión de la construcción de la planta de tratamiento frente a continuar tercerizando el servicio de tratamiento, recuperándose la inversión en menos de dos años y ahorrando más de la mitad de los gastos producidos, a partir del tercer año de operación.

Cabe destacar, que el presente análisis de cómputos y presupuestos es un estudio preliminar, debiéndose estudiarse en más en profundidad previo a la construcción de la planta.

- CAPÍTULO 9 -

Estudio de Impacto Ambiental

En el presente capítulo se realizará el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) de las etapas de construcción, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos de la Curtiembre en cuestión, identificando los posibles impactos ambientales pertinentes a la industria, a fin de evaluar los enfoques alternativos, y de diseñar e incorporar medidas adecuadas de prevención, mitigación, gestión y monitoreo.

A su vez, se espera que el mismo pueda ser utilizado como herramienta para contribuir en la garantización de la protección y rehabilitación de los hábitats naturales asociados a la zona industrial emplazada.

Es un estudio técnico, de carácter interdisciplinario, que permite la toma de decisiones sobre la viabilidad ambiental del proyecto, a partir de la interpretación del mismo en base, por un lado, a los factores ambientales más relevantes – entre ellos, atmósfera, agua, suelos, vegetación, fauna, recursos culturales, etc. – y por otro, con respeto a la legislación, y cómo ésta afectará a las actividades humanas, como la agricultura, el empleo y la calidad de vida.

En general, las plantas de tratamiento de efluentes, al tener como finalidad tratar agua residual previa a ser volcada en un cuerpo de agua receptor, poseen un impacto ambiental positivo. A su vez, varios de los procesos involucrados en el tratamiento, son conocidos por tener un gran gasto energético, o generar residuos secundarios, lo que se espera impacte negativamente. Es importante proyectar el uso de recursos de manera sustentable siendo ambientalmente responsable.

9.1 Metodología

Para el EsIA del proyecto se considerarán los diferentes aspectos necesarios para un correcto desarrollo de un estudio de impacto ambiental.

En primer lugar, se realizará una descripción del proyecto, detallando el propósito y funcionamiento del mismo, las diferentes etapas en las cual va a consistir y las actividades que se desarrollarán en cada una de ellas.

Luego se procederá a evaluar el Área de Influencia, el cual involucra las delimitaciones y aspectos relevantes a tener en cuenta. Habiendo determinado el área de influencia, se continuará con el análisis de la Línea de Base Ambiental. La misma permite determinar la situación en la que se encuentran los distintos compartimientos del ambiente, previamente a comenzar con el emplazamiento de la planta.

Se proseguirá a la identificación de interacciones entre las etapas del proyecto y los compartimientos del ambiente descriptos anteriormente, incluyendo una breve descripción de dichas interacciones, de manera tal de asemejar los efectos ambientales consecuentes.

Con los efectos ambientales identificados, se continuará a la evaluación de los impactos generados – ya sean positivos o negativos –. Los mismos serán presentados a partir de la matriz de Leopold.

Por último, se propondrán medidas de gestión para la prevención, mitigación, rehabilitación o recomposición del medio alterado, según los distintos impactos identificados, y un plan de monitoreo para asegurar el cumplimiento de las medidas anteriores.

El estudio de impacto ambiental y su correspondiente evaluación, se realizarán teniendo en cuenta la normativa vigente de carácter nacional, provincial y sectorial aplicable en la zona de emplazamiento del proyecto en materia ambiental, así como también recomendaciones internacionales referidas al tema en cuestión.

9.2 Descripción del proyecto

Como anteriormente fue mencionado, el proyecto propuesto implica la construcción y la operación de una planta de tratamiento de efluentes líquidos de una industria de curtido de pieles al cromo y del tratamiento de los barros activos generados durante el mismo.

Dicho proyecto surge de la necesidad de generar una solución a la contaminación proveniente del vuelco de los efluentes sobre el cuerpo de agua receptor

Principalmente, consta de tres etapas a las cuales se evaluarán los efectos ambientales que pueden estar implicados sobre la línea de base ambiental, previamente definida. Dichas etapas son, en primer lugar, la construcción de la planta de tratamiento, luego la puesta en marcha y operación de la misma, y por último la etapa de cierre del proyecto.

La planta de tratamiento de efluentes líquidos, consta de una serie de operaciones unitarias, con las cuales se busca disminuir los valores de los parámetros del efluente de la industria de curtiduría que se encuentran por encima de los valores máximos permitidos por la normativa que aplica. La planta posee dos líneas de tratamiento de los efluentes.

Por un lado, la línea principal derivada de cada uno de las etapas del proceso productivo. Para el tratamiento de esta línea se cuenta con las siguientes unidades:

1. Sistema de rejas
2. Tamiz rotativo
3. Tanque de homogeneización
4. Sistema DAF
5. Cámara de remoción de sulfuros
6. Cámara de remoción de cromo
7. Reactor biológico de Lodos Activados
8. Sedimentador Secundario

Por otro lado, la línea segregada – o línea secundaria – proveniente de la etapa de ribera, en el proceso de remojo. Por las particularidades que presenta el efluente en dicho proceso, se realiza un tratamiento aparte del mismo el cual cuenta con las siguientes unidades:

1. Sistema de rejas
2. Tamiz Rotativo
3. Proceso de Ultrafiltración
4. Ósmosis Inversa

A su vez, se realiza el tratamiento de los barros producidos en la planta de tratamiento del efluente líquido, por un lado, para disminuir los volúmenes a disponer de los mismos, y por otro, para recuperar el Cromo que se encuentra remanente en los barros, de manera tal de reutilizarlo en el proceso productivo. Para el tratamiento de los lodos activos se dispondrá de las siguientes unidades:

1. Tanques de almacenamiento
2. Tanque de recuperación de cromo
3. Pilas de compostaje

La planta contará, además, con un laboratorio donde se realizarán mediciones para controlar que los valores de los parámetros en cada parte del proceso se correspondan con lo esperado, y con una sala de control y operación donde se monitorearán cada uno de los distintos procesos.

La Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos será anexada a la Industria de Curtido de Pieles al Cromo ubicada en el Parque Industrial de Pilar. La misma consta de un predio de 1,1 hectáreas y el efluente a tratar presenta un caudal medio de 2850m3 por día. El vuelco del efluente tratado será al colector del Parque Industrial de Pilar, el cual tiene como cuerpo receptor final el Río Luján a la altura del Parque.

Lo descripto anteriormente, busca sintetizar en cierta medida el proyecto explicado en mayor detalle en los incisos anteriores del presente trabajo, resaltando los puntos que podrían ser relevantes a la hora de realizar el Estudio de Impacto Ambiental del mismo.

9.2.1 Etapas del Proyecto

a. Construcción de la Planta

En la etapa de construcción se realizará el emplazamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos y de los lodos activos, dentro del predio de la Industria de Curtido. El tiempo estimado de la etapa de construcción será de aproximadamente un año.

Dicha etapa consta, por un lado, de la adecuación del terreno donde será dispuesto y por otro, de la construcción de planta en cuestión. El terreno actualmente es un descampado de 1,1 hectáreas, perteneciente al área de la Industria de Cueros dentro del Parque Industrial. Las actividades previstas para la etapa en cuestión se enumeran a continuación:

a. Desmantelamiento y nivelación del terreno.
b. Construcción de conductos para los efluentes líquidos, desde la planta productiva de la industria al área donde estará emplazada la plata de tratamiento.
c. Escombrera para almacenar los residuos generados durante la obra.
d. Instalación de estaciones de control y monitoreo, los cuales se encontrarán en funcionamiento desde el comienzo de la obra.
e. Conductos y conexiones entre las distintas unidades y la conducción final al colector del Parque.
f. Implantación de soporte estructural: excavación y montaje de los cimientos necesarios para la instalación de las unidades.
g. Instalación de las distintas unidades operativas de la planta, tanto del tratamiento como de almacenaje.
h. Instalación de recinto cerrado para las unidades que no se dispondrán a cielo abierto, como también para el laboratorio y la sala de control y operación.
i. Vallado de seguridad en zonas que presenten algún peligro.
j. Verificación del funcionamiento de cada una de las unidades de manera separada y en conjunto.
k. Consumo de servicios e insumos: materia prima a utilizar y la mano de obra

Una vez finalizadas las actividades comprendidas dentro de la construcción de la planta, y luego de la aprobación de las pruebas de control, se procede a poner en funcionamiento la misma.

b. Operación de la Planta.

En la etapa de operación se procederá a poner en marcha la planta. Durante esta etapa, se depurarán las aguas residuales generadas en el proceso productivo del curtido de pieles al cromo, y se dispondrán las mismas, siendo el cuerpo receptor final, el Río Luján. A su vez, se realizará el tratamiento de los lodos activos provenientes de la planta. El tiempo de vida del proyecto en la etapa de operación será de 20 años.

Dentro de las acciones involucradas en esta etapa se encuentra la operación en condiciones normales, como también en condiciones anormales de la planta, tanto del tratamiento de los efluentes líquidos como de los barros generados, la gestión de los residuos producidos.

Se tendrán en consideración el reemplazo de aquellos elementos cuya vida útil sea menor al tiempo de vida de la planta en la etapa de operación, se realizará un mantenimiento y limpieza periódicamente de las instalaciones.

A su vez, se ejecutarán monitoreos del agua en las distintas etapas del proceso, como también en la zona de vuelco de los efluentes en el cuerpo de agua y controles de los diferentes parámetros en laboratorio.

c. Cierre de la Planta.

La etapa de cierre comprende aquellas actividades necesarias para recuperar las condiciones ambientales previas al inicio del proyecto. La misma consta del desmantelamiento del terreno y de las instalaciones de la planta, removiendo los cimientos construidos, retirando las distintas unidades y cerrando los conductos y conexiones de agua realizados.

Se realizará un monitoreo de la calidad de agua y factores ambientales durante un tiempo determinado, junto con la recomposición de la capa vegetal del emplazamiento, en caso de ser necesario.

9.3 Área de influencia

Para la determinación del área de influencia del proyecto con respecto al medio ambiente circundante, se consideró el grado de interrelación que tendrá la construcción, funcionamiento y cierre de la planta con las variables socio-ambientales, subdividiéndose en dos áreas: directa e indirecta. Esta subdivisión permitió tener una mayor compresión y facilidad de análisis de la situación ambiental.

El área de influencia directa es aquella que percibe las consecuencias del proyecto en primera instancia. La misma comprende el predio de la industria dentro del Parque Industrial de Pilar – con un total de 4,2 hectáreas –, y el área circundante hasta concluir en el Río Luján, donde se realiza el vuelco final del efluente tratado.

Por otro lado, el área de influencia indirecta alcanza las comunidades lindantes al Parque, principalmente la Ciudad de Pilar, y el recorrido del Río Luján, agua abajo desde el vuelco de las aguas residuales tratadas.

9.4 Línea de base

En el siguiente apartado se realizará un análisis de las condiciones del lugar de locación del proyecto, en cuanto a las características ambientales y socioeconómicas, previas a la implantación de la planta.

El objetivo de la Línea de Base es fijar las condiciones de modo tal, de poder realizar un seguimiento de los puntos más relevantes y una evaluación de cómo éstos varían a lo largo de la puesta en marcha del proyecto, de manera de regresar a las condiciones iniciales, una vez que se realice el cierre del mismo.

Para llevar a cabo la línea de base, se consultaron diferentes documentos e informes pertinentes a la zona afectada, teniendo mayor relevancia de información extraída los informes *Diagnóstico Ambiental del Partido de Pilar* (Alsina G., Borello J.A., 2002. UNGS) y *Análisis en los cambios en las Cuencas Media y Baja del Río Luján* (Feo F.D., Hernández E., 2017. Facultad de Ingeniería. UNLP).

9.4.1 Características Climáticas de la Región

En la zona de implantación del proyecto, predominan los vientos húmedos provenientes del Atlántico Sur, como la Sudestada, y los secos y frescos del Sudoeste como el Pampero. La velocidad media anual de los vientos fluctúa entre 9 y 12 km/hora. Las direcciones predominantes son la N y NO.

Cabe destacar que como no se hallaron datos climatológicos para el partido Del Pilar, se consideran para el análisis los correspondientes a San Miguel y José C. Paz, dada la proximidad de dichos partidos. En cuanto a las temperaturas medias anuales, las mismas indican inviernos suaves y veranos calurosos, siendo sus valores de aproximadamente 16 ºC para San Miguel y José C. Paz. El mes con el valor más alto de temperatura es enero 30.3 y 30.4 ºC, respectivamente y el de temperatura más baja es julio con 4.3 y 5.4 ºC. En cuanto a las heladas, 25.4 días en José C. Paz y 16.3 en San Miguel.

La precipitación media anual de J.C. Paz es de 1044 mm y la de San Miguel 1102 mm. El mes más lluvioso corresponde a enero con 143 y 154 mm, respectivamente. Los meses con menor precipitación son septiembre y diciembre con valores entre 50 y 60 mm en ambas estaciones. Las tormentas eléctricas ocurren con una media anual de 38 días y el granizo tiene una ocurrencia media anual de 2,8 días según datos de la estación meteorológica de San Miguel.

La humedad relativa media anual es de 76% siendo el mes de junio el de mayor humedad con 85% y los meses de enero y febrero de 66%.

La presión media anual es de 1012 hPa siendo los valores máximos entre abril y octubre y los mínimos de noviembre a marzo.

La frecuencia media anual de los días con niebla es de 41,9 siendo el período más neblinoso el comprendido entre abril y agosto.

9.4.2 Condiciones Topográficas del Partido de Pilar

Según la interpretación de la carta topográfica 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM) denominada Pilar 3560-12-1, se pueden observar que la cota mínima se presenta en el valle de inundación del Arrollo Escobar con 4,6 m sobre el nivel del mar, mientras que la cota máxima se encuentra en las proximidades de la estación Manzone sobre vías del FCGSM, con 25,3 m. La amplitud de relieve es de 20,7 m y el sentido general del gradiente topográfico es SO-NE.

En cuanto al emplazamiento topográfico, las circunscripciones más importantes de la zona, se puede observar, por un lado, que el casco histórico de Pilar se encuentra sobre terrenos desarrollados entre las curvas de nivel de 20 y 25 m, Manzone entre 23,75 y 25 m; Presidente Derqui alrededor de la curva de nivel de 22,50 m; Villa Rosa sobre la curva de nivel de 20 m; Del Viso en 25 m; Zelaya sobre 25 m y Tortuguitas en curva de 25 m.

9.4.3 Características Hidrológicas

En cuanto a los sistemas hídricos superficiales, Pilar tiene como límite natural al Aº Pinazo hacia el S-SE, el cual, por ser también límite de los partidos de Moreno y José C. Paz y ser colector de aguas residuales, puede representar una problemática por superposición de jurisdicciones institucionales.

La cuenca del río Luján es muy extensa (2940 km2) y con un caudal muy importante, siendo el medio de 5,37 m3/seg y el máximo de 400 m3/seg. Ocupa parcialmente los partidos de Escobar, Pilar, Luján, Tigre, José C. Paz, Malvinas Argentinas, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, Mercedes y Campana.

El río Luján tiene sus nacientes entre los partidos de Suipacha y Carmen de Areco. Aproximadamente a 30 km de sus nacientes confluye el Aº del Durazno desde donde comienza a llamarse Río Luján. En Pilar, aguas abajo de la ruta Nacional 8, su cauce se ensancha en una gran planicie aluvial hasta adquirir un ancho de más de 4 km. Su recorrido total es de 160 km con su naciente en cota de 52 metros sobre el nivel del mar y su desembocadura en el delta del Paraná alrededor de 2,5 m. La pendiente media es de 0,44 m por km. Sus afluentes principales son los arroyos Pinazo, Escobar, Garín y el Río Reconquista. Desde el punto de vista de la urbanización son más relevantes las características ambientales de los pequeños arroyos afluentes que las del curso principal.

El río Luján es marginal con respecto al proceso de expansión urbana ya que corre al oeste y norte de las ciudades de Pilar y Escobar. Los arroyos Garín, Pinazo, Burgueño, Toro, Escobar y Carabassa son cursos de escaso caudal que atraviesan zonas de reciente urbanización. Sus características físicas los hacen vulnerables a los vertidos de descargas no depuradas. El acuífero Toro ha provisto un importante caudal de agua de buena calidad para un área relativamente extensa de los partidos de Moreno, Pilar y José C. Paz (Figura 34).

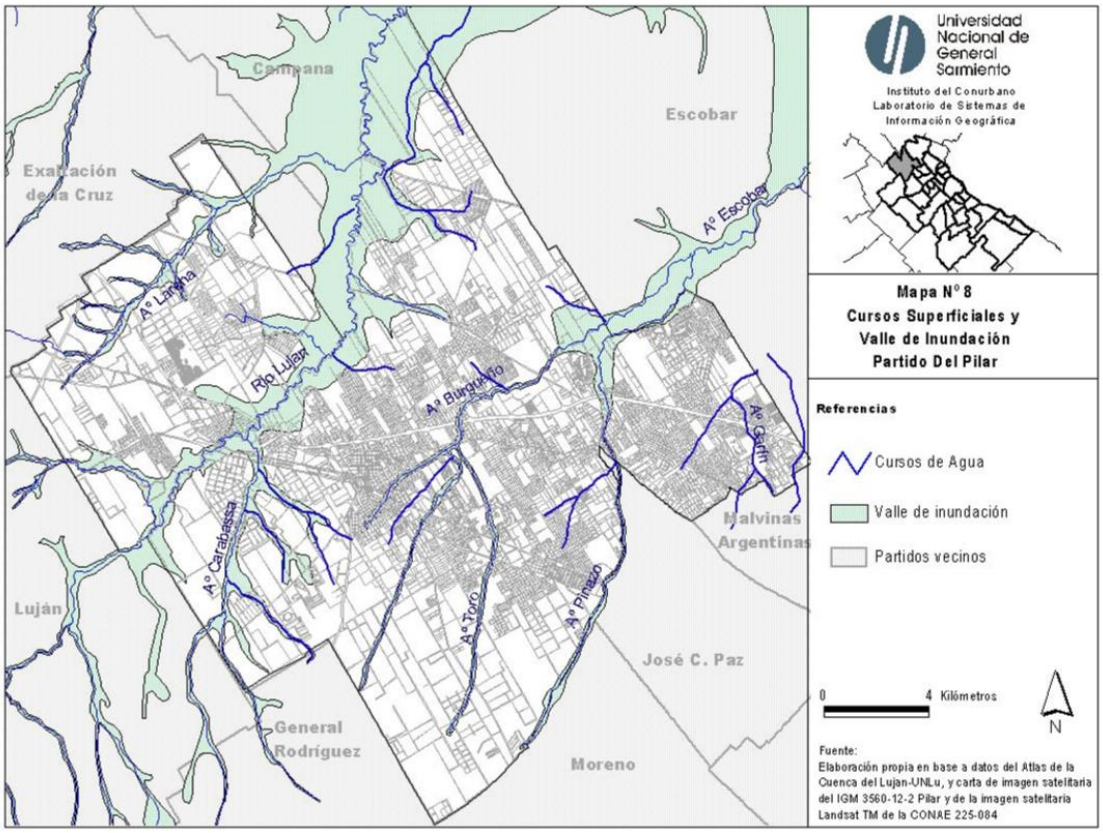


Figura 34: Mapa de los Cursos Superficiales y Valle de Inundación en el Partido de Pilar. Fuente: Diagnóstico ambiental del Partido de Pilar, UNGS (2002).

El río Luján presenta una topografía relativamente plana y uniforme, como todos los ríos típicos de llanura. Además, cuenta con meandros y con un escurrimiento lento de las aguas. Su cauce presenta amplios valles de inundación y están asociados a humedales.

Los humedales incluyen una amplia variedad de ecosistemas; una de las propiedades que lo diferencian de los ecosistemas terrestres, es la presencia predominante de agua, debido a que su sustrato permanece con agua durante importantes periodos del año. Estos son sistemas de transición entre ámbitos terrestres y acuáticos por su posición geográfica, volumen de agua que almacenan y procesos que en ellos se desarrollan.

Una característica principal de los humedales es la numerosa cantidad de bienes y servicios que proveen a la sociedad. Entre ellos se puede mencionar la amortiguación de inundaciones, el control de la erosión, la provisión de gran cantidad de recursos, regulación del clima, depuración del agua y la provisión de refugio, alimentación y reproducción para muchas especies de la fauna de la región.

9.4.4 Biogeografía: Flora y Fauna de la región.

El partido Del Pilar se encuentra dentro del denominado bioma del pastizal pampeano. En el pastizal predomina el estrato herbáceo, con formas vegetales que incluyen especies que crecen en altura formando manojos y otros pastos del tipo césped que crecen en la superficie. Un pastizal bien desarrollado presenta grupos de especies que crecen en invierno y otros en verano manteniendo el suelo permanentemente cubierto por un tapiz vegetal y con producción de materia verde todo el año. Los árboles y arbustos se encuentran a lo largo de las riberas de los ríos y arroyos.

Pueden observarse relictos de "Pseudoestepa graminosa climax" junto a las vías férreas y en campos poco pastoreados. Se trata de pastizales que cubren suelos arcillo-limosos, ligeramente ácidos.

La mayor parte de estos terrenos han sido modificados por la actividad agrícola. La vegetación está constituida por gramíneas cespitosas de medio a un metro de altura, en matas más o menos próximas entre sí. La cobertura del suelo oscila entre el 50 y el 100%. Algunas especies de este pastizal son: la cortadera (Cortadeira seollana), la cebadilla criolla (Bromus unioloides), la flechilla (Stipa neesiana), el espartillo (Spartina densiflora) y otros.

En el borde norte y este y en el extremo austral aparecen bosquecillos autóctonos y matorrales de arbustos, juncales, pajonales y selvas ribereñas empobrecidas. Por otra parte, existen, en las cercanías de los arroyos de poca corriente distintas comunidades como juncales y totorales, con presencia de juncos (Scirpus californicus), sagitarias (Sagitaria montevidensis) y otras especies.

El estrato arbóreo, producto de la forestación, está compuesto en su mayor parte por especies exóticas, como el paraíso, el eucaliptus, la casuarina, el plátano, la morera y otros. Uno de los rasgos más significativos del sistema periurbano es el proceso de bosquización espontánea en espacios que tuvieron ecosistemas anegadizos sin leñosas y donde se suspendió por construcción de defensas el pulso periódico de las inundaciones. Estos nuevos ecosistemas son dominados por especies exóticas como el Ligustrum lucidum (ligustro), Gleditschia triacanthos, Ailanthus altissima (Árbol del cielo), Acer negundo (Arce) y Robinia seudoacacia (Paraíso). Los procesos de bosquización también ocurren como mecanismos de contagio de urbanizaciones públicas y privadas.

En relación a la fauna cabe aclarar que la fuerte transformación a la que ha sido sometido este ambiente ha modificado y reducido, en general la fauna autóctona. Los anfibios se encuentran entre los más perjudicados por las alteraciones del ambiente originario. Sobreviven, sin embargo, algunas especies de ranas y sapos. Los reptiles se encuentran representados por las tortugas (de río y de laguna), los lagartos (verde y overo), las lagartijas y las culebras. También pueden encontrarse numerosas especies de insectos y arácnidos. Entre los mamíferos, puede mencionarse al cuis, el coipo (muy amenazado), la comadreja colorada y overa, el hurón, el zorrino, ratas y lauchas. Finalmente, entre las aves, se han reconocido más de 180 especies en el área. De los vertebrados, éstas parecen ser el grupo que mejor se ha adaptado a los cambios en las condiciones ambientales. La mayoría habita áreas arboladas y arbustivas y ambientes acuáticos. También se encuentran las siguientes especies: gorrión, chingolo, zorzal, cotorra, benteveo, ratona, hornero, calandria, tijereta, golondrina, paloma, tero, chimango, carancho, halcón, jilguero, cabecita negra, tordo, corbatita, pirincho, colibrí, lechuza, carpintero, cachirla, leñatero y otros.

9.4.5 Infraestructura y configuración urbana: Usos del Suelo.

La configuración, la infraestructura y el equipamiento urbanos (usos del suelo, red vial, provisión de agua y saneamiento, transporte, energía eléctrica, gas, teléfonos, disposición de residuos, servicios de transporte, salud, educación, seguridad, etc.), tienen una influencia directa en la calidad de vida de la población y en la calidad del ambiente urbano, en tanto se sitúan en la relación de la sociedad con su medio.

En base a la interpretación visual de la carta imagen satelitaria del Instituto Geográfico Militar 3560-12-2 Pilar, la imagen satelitaria Landsat TM de la CONAE 225-084 y al reconocimiento de campo, se han identificado cuatro grandes grupos de usos del suelo, subdividido cada uno a su vez:

1. Superficies artificiales: que a su vez se divide según sus usos en urbano; industrial continuo y discontinuo – concentrado en el parque industrial de Pilar y disperso en el resto del partido, respectivamente –; comercial y de transportes – los usos comerciales y de servicios se encuentran asociados al uso urbano y a las vías de comunicación más importantes –; minas, tosqueras y sitios de construcción; áreas verdes artificiales y reservas municipales y fiscales que ocupan una superficie estimada en 300 ha.

2. Áreas agropecuarias: en este grupo se encuentran las tierras arables dedicadas a la agricultura y ganadería; y las tierras arables de secano dedicadas a la frutihorticultura.

3. Bosques y áreas semi-naturales: Espacios verdes naturales asociados a la selva marginal del río Luján y dos reservas ecológicas que abarcan 44 ha aproximadamente en la margen derecha del río Luján

4. Cuerpos y cursos de agua: Si bien el partido se halla atravesado por muchos cursos de agua, el principal es el correspondiente al río Luján y su amplio valle de inundación, el cual tiene en promedio 2 kilómetros de ancho.

9.4.6 Situación Socio-económica

1. Crecimiento y conurbanización

Cabe aquí mencionar que el crecimiento poblacional de Pilar parece responder a características idiosincráticas del municipio ya que excede por mucho lo observado en otros municipios de la zona en igual período (Tabla 46).

Tabla 46: Crecimiento poblacional de Pilar en comparación con otros partidos

	Población			Variación %	
	1991	2001	2010	01-91	10-01
Pilar	144.670	232.463	299.077	**60,7%**	**28,7%**
José C Paz	186.681	230.208	265.981	23,3%	15,5%
Malv. Argentinas	239.113	290.691	322.375	21,6%	10,9%
Moreno	287.715	380.503	452.505	32,2%	18,9%
San Miguel	212.692	253.086	276.190	19,0%	9,1%
Tigre	257.922	301.223	376.381	16,8%	25,0%

Fuente: La desigualdad en Pilar. Centro de estudios Intendente Lagomarsino, Mayo 2017.

Asimismo, algunos trabajos estiman que “unas 600 personas arriban a Pilar cada mes, atraídas por la situación económica, provenientes desde el primer cordón metropolitano, otros puntos del país y países limítrofes” (Barsky y Vio, 2007), al tiempo que se estima que en 2020 la población de Pilar podría alcanzar el medio millón de habitantes (Briano y Fritzche, 2010; Barsky y Vio, 2007). Un proceso de transformación de esta magnitud ha implicado un cambio fundamental en las condiciones de vida del partido y su dinámica territorial, que en gran medida se ha caracterizado por la ausencia de políticas públicas acordes con una visión estratégica del territorio y sus múltiples usos. Este

proceso conocido como conurbanización “hace referencia a un crecimiento desordenado e interdependiente de un grupo de distritos alrededor de una Gran Ciudad, que demanda una planificación conjunta por la incidencia recíproca y de conectividad entre ellos” (Fernández Arroyo y Pieske, 2004).

El imponente crecimiento poblacional de Pilar ha dado lugar al surgimiento de problemáticas vinculadas a una creciente vulnerabilidad social, precariedad habitacional, sanitaria, educativa y de seguridad. Aun cuando estos problemas parecen comunes al conjunto del Conurbano bonaerense, en el caso de Pilar esta dinámica es exacerbada por los propios motores económicos y geográficos que dieron inicio a la expansión del partido. Así, se ha afirmado que en los últimos años el partido de Pilar se ha convertido en un escenario epicéntrico de múltiples transformaciones económicas y socio-demográficas registradas en la periferia de la metrópolis. Pilar ha sufrido un intenso proceso de reorganización territorial impulsado por la construcción de autopistas y el desembarco de inversiones inmobiliarias e industriales, todos fenómenos potenciados entre sí (Barsky y otros, 2009).

La falta de políticas públicas y de planificación del territorio necesarias para conducir de forma eficiente este devenir, han dado lugar al surgimiento de un partido dual, con un sector moderno altamente integrado al mundo y al tejido productivo nacional y otro, fuertemente desprotegido y con elevados niveles de pobreza, exclusión y violencia.

2. Industrialización: El Parque Industrial Pilar (PIP)

En la actualidad, más de la mitad de la actividad industrial del partido se desarrolla en el PIP. El mismo, se desarrolla en un área de 920 Has y está integrado por más de 200 Co-propietarios. Se estima que trabajan unas 15.000 personas aproximadamente y que diariamente concurren otras 10.000 en calidad de proveedores, transportistas, clientes y visitas.

Este proceso de industrialización acelerada implica que“el 89% de la actividad económica del partido corresponde ahora a la industria (…) Desde el punto de vista del empleo, del total de empleados cada 1.000 habitantes el 50 por ciento trabaja en la industria, 21 por ciento en los servicios y 20 por ciento en el comercio.” (Barsky y Vio, 2007).

La demanda creciente de empleo industrial inducida por uno de los polos más grandes del país dio paso a una creciente relocalización de trabajadores hacia el partido de Pilar iniciado de este modo, el proceso de acelerado crecimiento poblacional observado en los últimos años. Proceso que vería un impulso decisivo con el modelo inmobiliario que impactaría en el municipio durante los años noventa, justo en los años donde el esquema industrial a nivel nacional entró en crisis por las políticas neoliberales impulsadas desde el Estado Nacional.

9.5 Identificación y evaluación de impactos

Para poder identificar los impactos generados a partir del proyecto, es necesario reconocer en un principio las acciones llevadas a cabo en cada etapa del proyecto, y los efectos que las mismas causan sobre los diferentes factores bióticos, abióticos y antrópicos asociados al área de influencia del proyecto, respecto a las condiciones establecidas en la línea de base ambiental. Cabe destacar, que es considerado un impacto cualquier alteración significativa – tanto positiva como negativa – respecto a las condiciones establecidas en la línea de base ambiental.

Una vez identificados los impactos, se procederá a realizar la evaluación de los mismos a través de la incorporación de una matriz y su caracterización, analizándolos respecto a una serie de atributos, para medir el grado de relevancia del impacto en el proyecto, y poder actuar en consecuencia.

Con ello, se realizará un plan de gestión ambiental, diagramando medidas de mitigación y prevención, de manera tal de evitar – o minimizar – los impactos negativos.

9.5.1 Identificación de acciones

Las acciones son aquellas actividades llevadas a cabo en el proyecto que presentan interacciones con el medio ambiente.

Como anteriormente fue mencionado, el proyecto se divide en tres etapas, las cuales a su vez, presentan diferentes actividades: por un lado la etapa de construcción de la planta, luego la etapa de operación y mantenimiento, y por último la etapa de cierre del mismo. Además, se tendrán en consideración las contingencias que puedan llegar a ocurrir, las cuales se presentan como situaciones imprevistas con posibilidad de generar un impacto.

Si bien se mencionan las acciones pertinentes a la etapa del cierre del proyecto, la misma no será contemplada en la evaluación de los impactos ambientales.

A continuación, en la Tabla 47, se presentan las acciones del proyecto consideradas.

Tabla 47: Acciones según etapa del proyecto

Construcción	Preparación del terreno
	Excavación
	Instalación de estaciones de control y monitoreo
	Implantación de soporte estructural
	Instalación de las unidades básicas de operación
	Construcción de recinto cerrado
	Instalación de cañerías y conexiones
	Maquinarias
	Mano de obra
	Consumo de servicios
	Consumo de insumos
	Generación de residuos y escombros
Operación	Puesta en marcha
	Operación normal
	Gestión de residuos
	Gestión de lodos
	Mantenimiento
	Limpieza
	Monitoreo
Cierre	Desmantelamiento
	Restitución del área
	Monitoreo
Contingencias	

9.5.2 Identificación de factores

Los factores ambientales son aquellos componentes del ambiente que son propensos a sufrir impactos producto de las actividades del proyecto. Los factores fueron diferenciados en medio físico-biológico y medio antropogénico. En la Tabla 48, se presentan los factores identificados.

Tabla 48: Factores ambientales

Medio Físico-biológico	Atmósfera	Calidad
		Olores
		Ruidos
		Vibraciones
	Agua	Calidad
		Compactación
		Calidad de uso
	Suelo	Ambiente biótico
		Biodiversidad vegetal
		Biodiversidad animal
		Paisaje natural
	Biodiversidad	Calidad superficial
		Drenaje superficial
		Calidad subterránea
Medio Socio-económico	Economía	Nivel de empleo
		Actividades económicas
	Social	Calidad de vida
		Densidad poblacional
		Trama urbana y servicios

9.5.3 Criterios para la Evaluación de Impactos

Una vez identificadas las acciones y factores del medio, se procede a realizar la evaluación de los posibles efectos. Los impactos serán valorados de manera de definir la incidencia que presenten frente a la actividad por el cual se lo está evaluando.

La evaluación será llevada a cabo a través de la matriz de Leopold, la cual es una matriz de impacto ponderada de acción-efecto ambiental, que correlaciona los factores ambientales con las acciones.

Los impactos serán caracterizados teniendo en cuenta una serie de atributos y cuantificándolos con valores: +/-, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto y recuperabilidad.

A continuación, en la Tabla 49 se presentan las diferentes variables considerados para la ponderación de los efectos en la matriz de impacto.

Tabla 49: Sistema de ponderación de efectos

Variable	Estado	Valor
Valor del impacto	Negativo	-
	Positivo	+
Intensidad (IN)	Baja	1
	Media	2
	Alta	4
	Muy alta	8
	Total	12
Extención (EX)	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	4
	Total	8
	Crítica	(+4)
Momento (MO)	Largo plazo	1
	Mediano plazo	2
	Inmediato	4
	Crítico	(+4)
Persistencia (PE)	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
Reversibilidad (RV)	Corto plazo	1
	Mediano plazo	2
	Irreversible	4
Recuperabilidad (MC)	Recuperable de manera inmediata	1
	Recuperable a mediano plazo	2
	Mitigable	4
	Irrecuperable	8
Acumulación (AC)	Simple	1
	Acumulativo	4
Efecto (EF)	Directa	3
	Indirecta	1
Periodicidad (PR)	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
	Periódico	2
	Continuo	4
Importancia = ± (3IN + 2E + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)		

Signo (+/-): el signo positivo corresponde a un impacto de tipo beneficioso para el factor ambiental, mientras que el signo negativo lo correspondiente para un impacto perjudicial.

Intensidad (IN): se refiere al grado probable de destrucción sobre el factor. La valoración está comprendida entre 1 y 12, siendo 12 equivalente a la destrucción total del factor y 1 la afectación mínima.

Extensión (EX): Se refiere al área de influencia del impacto. El mínimo valor es 1 y corresponde a una acción cuyo efecto se expresa en forma puntual. El valor de 12 es el máximo asignado y corresponde a aquel efecto que no se encuentra en una localización precisa, presentando un efecto generalizado en toda el área.

Momento (MO): Alude al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor considerado. Cuando el tiempo transcurrido es nulo, el valor asignado es 8. Entre 1 y 5 años, el valor será de 2, y si el efecto tarda en manifestarse más de 5 años, el valor será de 1.

Persistencia (PE): Se refiere al tiempo de permanencia del efecto una vez generado el impacto. Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, el impacto será fugaz y el valor adoptado será 1. Si dura entre 1 y 10 años, será considerado temporal, correspondiendo a un valor de 2. Finalmente, será considerado permanente asignándose un valor de 4, cuando su duración supere los 10 años.

Reversibilidad (RV): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, lo que significa, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, una vez que aquel deje de actuar sobre el medio. Si es reversible, en menos de 2 años se le asigna el valor de 1. Entre 2 y 10 años se considera de medio plazo, tomando el valor de 2. Por último, si no podrá volver a las condiciones iniciales en forma natural, se le asigna el valor de 4 considerándolo irreversible.

Sinergia (SI): Debe interpretarse como el reforzamiento de dos o más efectos simples. Se asigna una valoración de 1 cuando dicho fenómeno no se produce. Luego, corresponderán valores de 2 o 4 dependiendo de cuán pronunciada sea su magnitud.

Acumulación (AC): Fenómeno mediante el cual los efectos se incrementan progresivamente. El valor de 1 se considera cuando es simple y 4 cuando es acumulativo.

Efecto (EF): De acuerdo a su manifestación o forma de operar sobre el medio, se puede considerar directo o indirecto.

Periodicidad (PR): Es la manifestación de la posibilidad de ocurrencia del efecto en el tiempo, calificándose como irregular, periódico o continuo.

Recuperabilidad (RC): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción total o parcial del facto afectado, por medio de la intervención humana, volviendo a las condiciones iniciales previas a la actuación. El efecto pude ser recuperable inmediatamente, recuperable a lo largo de un período de tiempo, irrecuperable o mitigable, lo que significa que puede recuperarse en forma parcial.

Una vez cuantificados los atributos de cada impacto, se procede a confeccionar la correspondiente matriz de impacto ambiental, en la que cada casilla de cruce corresponde a un impacto. La importancia (I) del impacto numéricamente, se expresa mediante la aplicación de la siguiente función:

$$I = \pm(3IN + 2\,EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + RC)$$

Habiendo evaluado cada atributo del efecto se procede a realizar el cálculo de valoración del impacto, es decir la importancia que tiene la acción en un factor ambiental. La identificación de la intensidad de cada uno de los impactos en la matriz, se verá reflejada por color, de la siguiente manera (Tabla 50):

Tabla 50: Identificación de la intensidad del impacto en la matriz

Valor del Impacto	Intensidad del Impacto
+ I	Positivo
I > -51	Leve
-51 > I > -81	Medio
< -80	Alto

Así, para cada una de las actividades del proyecto, teniendo en cuenta los diferentes factores ambientales y cómo podrían verse afectados, se procedió a elaborar la matriz de valoración de impactos ambientales

9.5.4 Matriz de Impacto Ambiental

A continuación, se presenta la matriz de impacto ambiental (Tabla 51) en la que se muestran los impactos de cada actividad, según el factor ambiental que se esté evaluando, siguiendo el criterio detallado anteriormente.

Tabla 51: Matriz de impactos ambientales del proyecto

Matriz de Impactos Ambientales *Factor ambiental - Actividad por etapa del proyecto*			Construcciòn												Operación							
			Preparación del terreno	Excavación	Instalación de monitoreo	Implantación soporte estructural	Instalación de unidades	Construcción de recinto cerrado	Instalación de cañerías y conexiones	Maquinarias	Mano de obra	Consumo de servicios	Consumo de insumos	Generación de residuos y escombros	Puesta en marcha	Operación normal	Gestión de residuos	Gestión de lodos	Mantenimiento	Limpieza	Estación de Monitoreo	Valor medio
Medio Físico-biológico	Atmósfera	Calidad	-33	-30		-18	-15	-15	-15	-28						-18						-22
		Olores		-12												-22	-22	-22				-20
		Ruidos	-27	-33		-23	-23	-23	-23	-51					-16	-12						-26
		Vibraciones	-27	-27		-16	-16	-16	-16	-51					-12	-12						-21
	Suelo	Calidad	-42	-38					-21					-28		-12		+				-28
		Compactación	-38	-44		-22	-15	-15	-30	-37	-13			-20								-26
		Calidad de uso	-40	-51		-22	-15	-15	-35	-23		-16						+				-27
	Biodiversidad	Ambiente biótico	-29	-36		-18	-28	-26	-22	-28			-22	-32		+						-27
		Biodiversidad vegetal	-29	-25		-36	-35	-30	-22							+						-30
		Biodiversidad animal	-29	-25		-39	-35	-30	-22							+						-30
		Paisaje natural	-25	-25		-33	-35	-33	-18	-17				-28		+						-27
	Agua	Calidad superficial												-26	+	+		+		-19		-23
		Drenaje superficial							-24			-18				+						-21
		Calidad subterránea							-18						+	+		+		-19		-19
Medio Socio-económico	Economía	Nivel de empleo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Actividades económicas									+	+	+			+			+	+	+	
	Social	Calidad de vida									+	+	+	+	+	+					+	
		Densidad poblacional									+					+						
		Trama urbana y servicios			+				+			+				+						
Valor medio			-32	-31		-25	-24	-23	-22	-34	-13	-17	-22	-27	-14	-15	-22	-22		-19		-23

9.5.5 Descripción de los Impactos Ambientales

Impactos en la Etapa de Construcción

Durante la etapa de construcción del proyecto, se generarán impactos ambientales de carácter temporario en la mayoría de los casos, con magnitud variable y, por lo general, acotados al entorno inmediato de las obras. Cabe destacar, que los impactos negativos más significativos del proyecto se producen durante la llevada a cabo de la presente etapa.

Se producirán cambios temporales en la calidad del aire y generación de polvo, debido al trabajo de adecuación del terreno, los caños de escape de los vehículos y la maquinaria utilizada. Esto podrá resultar en una molestia temporal para la fauna y habitantes del área. Sin embargo, las emisiones serán dispersadas por los vientos de la zona disminuyendo su magnitud de impactos. Se espera que los mismos desaparezcan una vez que se complete la construcción.

Por otro lado, el transporte de materiales y equipos hacia el área de obra, así como la operación de los mismos durante la construcción resultará en un incremento temporal en los niveles de ruido y vibración local, los cuales se presentan como uno de los mayores impactos negativos de la presente etapa del proyecto.

Otro impacto muy significativo resulta en la compactación y calidad de uso del suelo, producida por el peso y los cambios realizados sobre el terreno. En consecuencia, podrían alterarse los canales de escurrimiento superficial preexistentes, modificando, aunque levemente, la dinámica de drenaje natural del sitio. Además de alterar los patrones de escurrimiento superficial, la nivelación del terreno podría interrumpir la dinámica natural de arrastre de sedimentos y relleno de depresiones.

Como resultado de la remoción vegetal se afectará ineludiblemente a la fauna y especialmente a la microfauna asociada al medio. De este modo, la actividad de despeje implica la alteración de esta porción del hábitat natural. Así mismo, la percepción paisajística por parte de la fauna silvestre será disminuida por la presencia de maquinarias y material acumulado, aunque los tiempos de trabajo serán mínimos, con lo que la perturbación desaparecerá una vez finalizada la construcción.

La realización de todas las tareas llevadas a cabo durante la etapa de construcción, conllevará a la generación de residuos tanto de carácter sólido urbano, como residuos especiales o peligrosos. Para evitar posibles impactos, deberán respetarse los estándares y procedimientos de tratamiento y disposición de tales residuos.

Por su parte, la calidad del agua tanto subterránea como superficial puede verse alterada debido al uso de agua para las tareas de limpieza, que arrastran contaminantes hacia otros cuerpos de agua. A su vez, el material particulado desprendido de las actividades puede afectar la calidad de agua superficial al depositarse el polvo en los cuerpos de agua cercanos. No obstante, el efecto no será muy significativo debido a la escorrentía propia del río, la cual actuará como diluyente de tal efecto.

Dentro de los impactos positivos que se producirán durante la etapa de construcción, se destaca el efecto sobre la economía, donde las diversas tareas a desarrollar se traducen en demanda laboral. Industrial y de servicios, así como también la necesidad de insumos, materiales y equipamiento.

Impactos en la Etapa de Operación

Durante la etapa de operación de la planta de tratamiento, los mayores impactos negativos están relacionados principalmente con las afectaciones a la atmósfera. Las mismas pueden provenir de la producción de olores por parte de los reactores biológicos y el manejo de residuos y lodos, como de la liberación de los gases característicos del metabolismo de los microorganismos, si estos no se encuentran bien controlados. A su vez, podría producirse contaminación sonora por el ruido y las vibraciones propias de alguno de los equipos de operación.

Siempre que la operación de la planta de tratamiento funcione correctamente, no deberían verse afectados los componentes del suelo y agua, contrariamente, debería producirse una mejoría en cuanto a la calidad de agua superficial y subterránea, generando un impacto positivo, si bien no sería muy significativo el mismo debido a los valores de base que presenta el cuerpo receptor, el cual se encuentra contaminado por otros agentes. A su vez, este impacto positivo podría verse reflejado en un aumento de la calidad de vida acuática, tanto de la flora como de la fauna.

Entre los impactos positivos durante esta etapa, además de la esperada por parte del cuerpo de agua receptor y la biodiversidad asociada al mismo, se destacan aquellos que repercuten sobre la economía, aunque en menor medida que en la etapa de construcción, ya que se requerirá la contratación de profesionales, insumos y servicios para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

Impactos ambientales por Contingencias

Las contingencias pueden ocurrir en cualquier etapa del proyecto y pueden ser de origen natural (como inundaciones) o por accidentes de origen humano (como explosiones o derrames). Se caracterizan por generar impactos negativos sobre los factores ambientales que generalmente, son de carácter eventual, de alcance y magnitud variable en función del grado de afectación.

Una contingencia como una inundación o derrame puede generar impactos negativos sobre la calidad del agua y del suelo, mientras que una contingencia referida a una explosión, puede generar impactos negativos sobre la calidad del aire. A su vez, podría verse afectado el paisaje de la zona, así como también el funcionamiento normal de los servicios.

Por otro lado, generalmente causan un impacto negativo la cual se vería afectada por los costos adicionales para revertir los daños ocasionados. Además, podrían generarse efectos negativos en la salud y la seguridad laboral y pública.

9.6 Plan de Gestión Ambiental

El objetivo del Plan de Gestión Ambiental (PGA) se encuentra asociado a generar una correcta organización de los recursos de manera tal de prevenir, mitigar, evitar y/o remediar los potenciales impactos ambientales negativos detallados en el inciso anterior.

El mismo, se encuentra compuesto por diferentes programas de los cuales se despliegan diferentes medidas y acciones para el cumplimiento de su finalidad. El esquema general (Figura 52) se podría resumir de la siguiente manera:

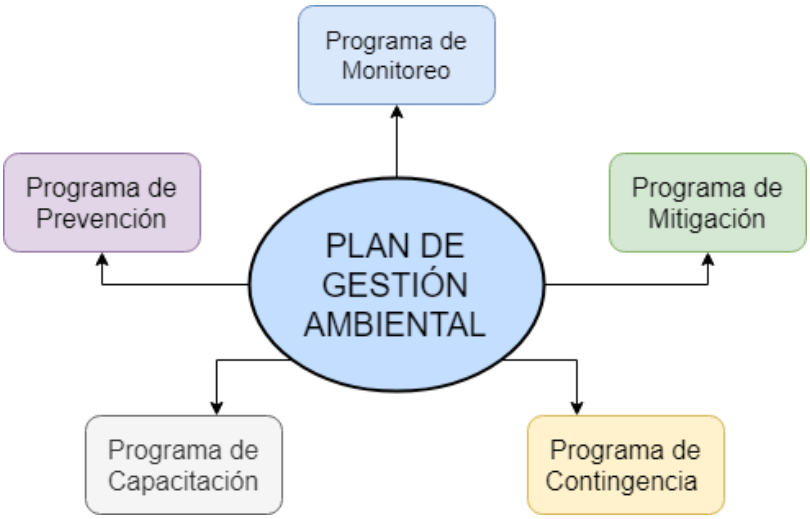


Figura 52: Esquema general del Plan de Gestión Ambiental Fuente: Elaboración propia.

9.6.1 Programa de Prevención

El objetivo del Programa de Prevención es considerar los factores ambientales y las medidas de prevención en la etapa más temprana. En la Tabla 53, se especifican las consideraciones a tener en cuenta para la protección de los diferentes factores ambientales.

Tabla 53: Medidas de prevención para cada factor ambiental

Factor ambiental	Medida de prevención
Calidad atmosférica	Mantenimiento de equipos a combustión para reducir las emisiones
	Minimizar el tránsito de maquinaria
	Prevenir la generación y dispersión del polvo, limpiando adecuadamente y humedeciendo zonas secas
Generación de ruido y vibraciones	Cumplir con normativa aplicable para ruido
	Utilizar silenciadores o barreras de insonorización para control del ruido de la maquinaria
	Contar con elementos de protección auditiva
	Realizar aislamiento adecuado anti vibratorios

Generación de residuos líquidos y sólidos	Generar un programa de gestión de residuos
	Reducir y reutilización
	Separación y contención adecuada
	Destinar áreas de disposición transitoria con superficies impermeables, barrera anti derrames y canaletas de recolección
	Registrar cantidad y característica de los residuos
	Evitar vuelcos, pérdidas, lixiviados y derrames
Procesos del tratamiento e Infraestructura	Utilizar contenedores sellados y destinar áreas de almacenamiento con superficies impermeables y barrera anti derrames
	Identificar adecuadamente cada contenedor y proceso
	Realizar mantenimiento de las condiciones operativas, conducciones y unidades
	Identificación de posibles interferencias de redes o instalaciones
	Transporte y manipulación de material con elementos y maquinaria adecuada
	Evitar vuelcos, pérdidas, lixiviados o derrames
Seguridad y salud ocupacional	Identificar y evaluar los posibles riesgos laborales, señalizando cada uno de ellos
	Mantener el orden y la limpieza en cada área
	Elaborar y seguir un programa de seguridad e higiene
	Dotar los equipos con elementos de protección personal y señalización que los identifique en cada área a utilizarse

9.6.2 Programa de Monitoreo

El objetivo del mismo será proporcionar un sistema de control ambiental, del cual se genere información que permita alertar y mantener un seguimiento sobre diferentes indicadores de impacto.

Para ello, se realizarán diferentes mediciones de parámetros característicos, en los puntos más relevantes en cuanto a su potencialidad de generar impactos negativos.

Complementariamente, se elaborarán reportes de los resultados obtenidos de manera semestral.

Los datos recolectados durante el presente programa, serán comparados con los datos de Línea de Base, de manera tal de identificar las posibles variaciones de las condiciones ambientales. A su vez, se determinarán niveles de acción para los distintos componentes ambientales, con los cuales se podrá determinar la necesidad de monitoreo adicional, validación o la implementación de medidas de mitigación más estrictas o remediación.

9.6.3 Programa de Mitigación

Las medidas que se proponen en el siguiente programa son de carácter correctivo y se con el fin de recuperar aquellos los factores impactados negativamente. A continuación, se listan posibles medidas a considerar:

- Programar las tareas y realizar las actividades en horarios menos sensibles
- Comunicar de manera anticipada las tareas a realizar
- Minimizar la duración y frecuencia de las mismas
- Señalizar de manera adecuada, delimitar el área y garantizar alternativas

En todos los casos se deberán analizar las medidas concretas de recomposición para la restitución del medio afectado.

9.6.4 Programa de Contingencia

La finalidad del plan de contingencias es incorporar la capacidad de accionar de manera inmediata frente a un imprevisto que pudiera generar impactos negativos. Para ello, es necesario asegurar respuestas planificadas y ordenadas. La toma de decisiones deberá ser llevada a cabo por un responsable a cargo de cada área.

En el caso de ocurrir una contingencia, primero deberá detectarse el tipo de improvisto ocurrido, contando a su vez, con un equipo de contingencia para mitigar lo más rápidamente el inicio del problema. Los instrumentos necesarios deberán encontrarse al alcance de todos los operarios de la planta y tener absoluto conocimiento sobre su uso.

En pos de reducir la contingencia, los operarios deberán actuar acorde a los protocolos de higiene y seguridad establecidos. Las zonas seguras deberán estar señalizadas de forma tal que cualquier persona dentro de la planta pueda reconocerlas y dirigirse a estos lugares, en caso de ser necesario una evacuación en el lugar.

9.6.5 Programa de Capacitación

La capacitación tiene por objetivo formar a los diferentes operadores de la planta y demás actores de relevancia, de manera tal de prevenir accidentes durante la manipulación de maquinarias y demás actividades realizadas en la etapa de construcción y operación.

Para ello, se brindarán capacitaciones previas a las actividades, donde se pretende incorporar conocimiento sobre los trabajos a realizar, fomentar el buen manejo y práctica de las diferentes acciones, e informar sobre los posibles riesgos que puedan existir, brindando herramientas de higiene y seguridad.

Las capacitaciones se realizarán en más de una oportunidad, de manera de reforzar y mejorar continuamente los conocimientos previos, como también adquirir nuevos en caso de ser necesario.

9.7 Conclusiones del EsIA

Como conclusión final del Estudio de Impacto Ambiental realizado, se considera que el proyecto es viable ambiental y socioeconómicamente. A lo largo del presente capítulo pudo corroborarse que el proyecto no presenta impactos negativos de tal magnitud que pudieran impedir su realización o no puedan ser mitigados durante la implementación del PGA.

Cabe destacar que, encontrándose el proyecto emplazado sobre un Parque Industrial, los efectos que traerá asociados al medio receptor ambiental, resultan insignificantes ya que la zona es un área previamente modificada por el hombre, en la que los impactos negativos más significativos fueron realizados durante la construcción masiva del mismo.

Es posible notar que el impacto global generado por el proyecto es positivo, teniendo en cuenta que se trata del tratamiento de los efluentes líquidos de una curtiembre. En cuanto a los potenciales impactos negativos identificados, los mismos fueron categorizados en este

trabajo como moderados, considerando la utilización y buenas prácticas de las medidas establecidas en el Programa de Gestión Ambiental de manera tal de minimizar y prevenir los mismos.

- CAPÍTULO 10 -

Disposición y Planos de la Planta

10.1 Disposición de Unidades e Implantación

Las unidades de la planta de tratamiento de los efluentes líquidos tanto de la línea principal como la segregada, con sus respectivos conductos y conexiones, así como también las salas anexas a las mismas, ocupan una superficie total de 2550 m2 del predio, lo cual se encuentra por debajo del área destinada a la construcción de la misma.

Las unidades fueron dispuestas de tal forma que el inicio del tratamiento – el sistema de rejas de limpieza automática para ambas líneas – se encuentra más próximo al sector de producción de la industria, mientras que la finalización del tratamiento – sedimentador secundario para la línea principal y sala de filtración para la línea segregada – se encuentren más próximas al paso del canal colector del Parque Industrial, desde donde será conducido finalmente hacia su vuelco al Río Luján.

10.2 Planos de la Planta de Tratamiento

Se presentan en el Anexo IV los planos de la planta, en los que se puede distinguir la disposición general de las diferentes unidades de operación unitaria dentro del predio destinado a la planta de tratamientos, su continuidad, conexiones y detalles del dimensionamiento de cada una de ellas.

- CAPÍTULO 11 -

Conclusiones Finales

11.1 Recomendaciones técnicas

A continuación, se enumerarán algunas recomendaciones propuestas para la correcta realización del proyecto. Las mismas han podido ser implementadas al presente trabajo, debido a la falta de información o recursos para tales cuestiones.

- Realizar la construcción de la planta de tratamiento de efluentes diseñada en el presente trabajo, siguiendo los lineamientos propuestos
- Realizar una prueba piloto de las cámaras de remoción de sulfuro y cromo, de manera de ajustar los parámetros establecidos por la bibliografía consultada, al efluente en cuestión a tratar
- Llevar a cabo un análisis de laboratorio del efluente a tratar, de manera de determinar la aplicabilidad de los valores adoptados para el diseño de las distintas unidades
- Analizar la posibilidad de reutilización del efluente tratado en alguna pare del proceso productivo o de la planta de tratamiento
- Mantener al personal capacitado, de manera que puedan incorporar las nuevas técnicas que hacen la proceso más eficiente
- Mantenerse al tanto de los avances tecnológicos relevantes para el tratamiento de efluentes de tales industrias, de manera de poder incorporar una mejora tecnológica en la planta, que incremente la eficiencia de la misma, o disminuya los gastos energéticos
- Realizar un análisis de factibilidad para el aprovechamiento del agua de rechazo proveniente de la ósmosis inversa, cuyo nivel de cloruros es elevado.

11.2 Conclusiones del Proyecto

El sistema de tratamiento diseñado a lo largo del presente trabajo, cumple con el objetivo de depuración del efluente de manera que pueda ser dispuesto en el cuerpo receptor final – el Río Luján – sin causar efectos significativos al mismo, encontrándose las aguas tratadas por debajo de los valores establecidos por la normativa vigente.

Habiendo analizado diferentes variables en cuanto al tratamiento y depuración de los contaminantes propios del efluente, se logró obtener un proceso efectivo y viable técnica, ambiental y económicamente.

Siendo la industria de curtiduría reconocida por el grado de contaminación que trae aparejado el proceso productivo sobre el medio ambiente y la salud de los habitantes que dependen de las aguas receptoras de sus efluentes, se consiguió diseñar efectivamente unidades para su tratamiento.

En la caracterización del efluente, destaca las altas concentraciones de cromo, sulfuros y cloruro. Para el primero de ellos, luego de un análisis entre las distintas posibilidades, se diseñó un sistema de remoción por precipitación química a sal básica de cromo, para el cual luego se propuso un tratamiento para su recuperación y reutilización en el proceso productivo.

Por su parte, luego de analizar la caracterización de los efluentes generados en las distintas etapas del proceso productivo, y destacándose la generación de agua residuales ricas en cloruro para el proceso de remojo de la etapa de ribera, se optó por la segregación de dicho efluente, con el fin de aumentar la eficiencia de remoción de cloruros.

Para el tratamiento de la materia orgánica, se plantearon tres alternativas en las que se analizaron aspectos económicos, energéticos, ocupación de espacio y eficiencia para la selección de la alternativa a llevarse a cabo. Finalmente se optó por la depuración mediante el proceso de lodos activados, debido a su alta eficiencia, costos de inversión y superficie ocupada.

En cuanto a los lodos generados en algunos de los procesos de la planta en cuestión, se planteó un tratamiento para la producción de compostaje, considerando a su vez, la

incorporación de los residuos sólidos generados en la etapa de ribera del proceso productivo, siendo los mismos principalmente pelo.

Por otro lado, a partir del Estudio de Impacto Ambiental, se pudo comprobar que el proyecto no posee impactos negativos significativos sobre el medio ambiente, pudiendo prevenirse y mitigarse en mayor parte con la incorporación del Plan de Gestión Ambiental propuesto. Se concluyó que el proyecto es viable ambientalmente, provocando un impacto positivo sobre el vuelco de las aguas tratadas en el Río Luján.

A partir del análisis económico se demostró la conveniencia de invertir en la construcción de la planta de tratamiento de efluentes, si bien el costo inicial es elevado, debido principalmente al ahorro monetario que conlleva a largo plazo, en comparación con la tercerización del servicio de tratamiento.

Finalmente, la planta de tratamiento diseñada ocupa el área dispuesta por la industria para tal fin y cumple con su objetivo principal de depuración de las aguas residuales generadas por la industria de cuero.

11.3 Conclusiones Personales

Por un lado, la realización del proyecto, resultó ser uno de los mayores desafíos académicos que se me presentaron a lo largo de la carrera, en el cual se pusieron en práctica diversos conocimientos incorporados durante la cursada de las distintas materias, así como también la búsqueda de información, redacción de informes y criterio de selección entre diferentes situaciones presentadas.

Considero que la elaboración del mismo sobre el final de la carrera, es una instancia fundamental en la formación de un ingeniero, debido a que permite fortalecer los conocimientos aprendidos e incorporar nuevos constantemente.

Por otro lado, con respecto a mi formación universitaria a lo largo de todos estos años, considero que crecí enormemente no sólo a nivel profesional, sino también personal, pudiendo superar diferentes situaciones presentadas, creando y fortaleciendo constantemente vínculos entre compañeros y docentes, viviendo nuevas experiencias,

como lo fueron las distintas salidas de campo, seminarios realizados en diferentes institutos, prácticas de laboratorio y/o pruebas de ensayo en INTI, CNEA, FIUBA.

Habiendo pasado por todo ello, sostengo y ratifico mi elección de realizar Ingeniería Ambiental como carrera de grado, habiendo aumentado aún más mi interés por el cuidado del medio ambiente y la práctica de procesos de ingeniería como solución a los problemas ambientales existentes hoy en día.

Por último, no me queda más que agradecer por la posibilidad de estudiar una carrera de grado en una Universidad Pública de semejante calidad, con deseos de poder devolver en algún momento y de algún modo, un poco de todo lo que la misma me brindó en todos estos años.

Referencia Bibliográfica

1. Comisión Nacional del Medio Ambiente, "*Guía para el control y prevención de la Contaminación Industrial: Curtiembre*". Santiago, Chile. 1990.
2. Giusy L.; Sureyya M.; Gülsüm E. Z.; Derin O. "*Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review*". Elsevier Science LTD. 2013. 265-281.
3. Olcay T.; Isik K.; Derin O.; Esra A. "*Characterization and pollution profile of leather tanning industry in Turkey*". Istambul Technical University, Civil Engineering Faculty, Environmental Engineering Department. Istambul, Turquía. 1996.
4. Chavez Porras A. "*Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo*". Revista Ingenierías. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia. 2010.
5. Mandal T.; Dasgupta D.; Mandal S.; Datta S. *"Treatment of leather industry wastewater by aerobic biological and Fenton oxidation process"*. Journal of Hazardous Materials. Elsevier Science, 2010.
6. *Pilar: Autoridades del Parque Industrial, admiten que empresas podrían volcar efluentes contaminantes*. Página web de Pilar, 2011. Recuperado de: http://www.pilar.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=784:pilar-autoridades-del-parque-industrial-admiten-que-empresas-podrian-volcar-efluentes-contaminantes&catid=45:novedades-ecologia&Itemid=70
7. Metcalf y Eddy, Inc. Wastewater engineering treatment and reuse. 4th ed. McGraw-Hill. New York. USA, 2003.
8. Malairajan S. y Alemayehu Abebaw V. S. *Studies on the removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by using biomaterials*. EJEAFChe, 2014.
9. Pinilla Arbelaez D. E. *Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito (Bogotá)*. Universidad Santo Tomás- Bogotá, 2014.

10. Quishpe A.; De la Torre E.; Guevara A. *Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración*. Revista politécnica, 2010.
11. Cuervo Figureredo N. F. *Estudio del proceso de compostaje de los lodos producidos en la operación de pelambre en la industria del curtido de pieles*. Universidad de Colombia, 2010.
12. Ayala Esquivel J. *Extracción y recuperación de sulfuros de aguas residuales de curtiembres*. Universidad Santo Tomás, 2017.
13. Kothiyal M.; Kaur M.; Dhiman A. *A comparative study on removal efficiency of sulphide and cod from the tannery effluent by using oxygen injection and aeration*. Department of Civil Engineering-India, 2016.
14. Gilberto Salas C. *Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento de agua residual de una curtiembre*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005.
15. *Estudio socioeconómico y ambiental en la Cuenca Lujan Reconquista y área complementaria*. AySA, 2010.
16. Completa S. P. *Estudio de Impacto Ambiental: empendimiento urbanístico.* ITBA, Buenos Aires, 2015.
17. Feo F.D.; Hernández E. *Análisis de los cambios en la Cuenca Media y Baja del Río Luján*. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2017.
18. Alsina G.; Borello J. A. Diagnóstico ambiental del Partido del Pilar. Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, 2002.
19. Raghava Rao J.; Chandrababu N. K.; et al. Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. Journal of Cleaner Production, India, 2002.

Anexos

- ANEXO I: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS -

En el presente anexo, se describirán los distintos cálculos aplicados para la realización del dimensionamiento de las características fundamentales de las alternativas descriptas en el proyecto y que no fueron seleccionadas para llevarse a cabo.

AI-1: Dimensionamiento Alternativa 1: Laguna Aireada Mecánicamente

El dimensionamiento de la laguna aireada mecánicamente se realizó considerando las condiciones climáticas más adversas que puede llegar a haber en el lugar de emplazamiento, en la época invernal donde la temperatura mínima promedio es de 9°C para el Partido de Pilar.

Se considera a la laguna un reactor de mezcla completa, sin recirculación. El volumen se calculó adoptando el tiempo de retención celular (θc). Por otro lado, la concentración de salida del efluente se obtiene de la siguiente manera:

$$S = \frac{So}{1 + K(V/Q)}$$

Donde:

So: Concentración DBO del influente (mg/l)

K: Constante de depuración dependiente de la temperatura (día-1)

V: Volumen de la laguna (m3)

Q: Caudal de diseño (m3/día)

A su vez, la constante de depuración K, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$K = K_{20}\,\theta^{Tw-20}$$

Donde:

K_{20}: Constante de depuración a los 20°C.

Tw: Temperatura del agua en la laguna (°C)

Para poder obtener la constante de depuración, en primer lugar, es necesario calcular la temperatura del agua en la laguna Tw, en este caso, se utilizará la temperatura que alcanza en la época invernal, de la siguiente manera:

$$Tw = \frac{A\,f\,Ta + Q\,Ti}{A\,f + Q}$$

Donde:

Ti: Temperatura del efluente líquido (°C)

Ta: Temperatura ambiente, utilizando la Tmínima promedio de Pilar (°C)

f: Factor de seguridad (adimensional)

A: Área de la laguna (m2)

Aplicando las ecuaciones presentadas anteriormente, se obtiene la concentración de salida de DBO del sistema, la biomasa se obtiene con la siguiente expresión:

$$Xinv = \frac{Y\,(So - Sinv)}{1 + Kd\,\theta c}$$

Donde:

Kd: Constante de descomposición

Y: Contante de producción de lodos

Por último, se aplicó una corrección del volumen de la laguna calculada, considerando que la forma de la misma es tronco piramidal.

El cálculo del requerimiento de oxígeno RO y el requerimiento estándar (SOR) se realizaron a partir de las ecuaciones presentadas en el presente trabajo, en la sección de memoria de cálculo de lodos activados.

A continuación, en la Tabla AI-1, se presentan los valores adoptados y obtenidos para el dimensionamiento de la laguna aireada mecánicamente.

Tabla AI-1: Parámetros de dimensionamiento de Laguna Aireada Mecánicamente

Dimensionamiento Laguna Aireada Mecánicamente		Valor
Adoptado	Tiempo de retención celular θc (día)	4
	Constante θ (adimesional)	1.06
	Temperatura ambiente invierno (°C)	9
	Factor de conversión f (adimensional)	0.5
	Profundidad (m)	3
	Constante de descomposición (día-1)	0.5
	Producción de lodos	0.6
Volumen tronco piramidal (m3)		8206
Requerimiento estándar de oxígeno SOR (kgO2/día)		1748
Área superior (m2)		3220
Área inferior (m2)		2278
Concentración DBO de salida (ppm)		21
Kw invierno (día-1)		2.77
Temperatura laguna invierno Tw (°C)		21.8
Eficiencia de depuración (%)		96

AI-2: Dimensionamiento Alternativa 2: Reactor UASB + Lecho Percolador

Diseño de los Reactores UASB

Dentro de los aspectos a considerar para el díselo de un reactor anaerobio de flujo ascendente se encuentran las características de aguas residuales en términos de la composición y contenido de sólidos, la carga orgánica volumétrica, la velocidad de flujo ascendente, el volumen del reactor, las características físicas, como el sistema de distribución del efluente y el sistema de recolección de gas.

Para que la depuración de la materia orgánica del efluente, a través de un reactor UASB, se recomienda que el caudal de diseño no supere los 500 m3/día. De esta forma, se determinó la incorporación de cuatro reactores UASB para abastecer la totalidad del caudal de efluente que es tratado en la planta. Para ello, el efluente ingresa en primer lugar en una cámara separadora de caudales, en donde se divide el mismo a través de cuatro cañerías de igual dimensiones.

En primer lugar, se determinó la carga orgánica a tratar por los reactores UASB a partir de la siguiente expresión:

$$CO = Q\ So$$

Donde:

CO: Carga orgánica (kgDBO/día)

Q: Caudal de diseño L1 (m3/día)

So: Concentración de DBO de entrada al reactor (mg/l)

Por otro lado, se adoptó un tiempo de retención hidráulica (th) a partir de recomendaciones bibliográficas donde se relaciona dicho factor con la temperatura del efluente. De esta manera, se calculó el volumen de cada reactor, utilizando el caudal de ingreso a cada reactor:

$$Volumen\ reactor\ UASB = Q_{UASB}\ th$$

El reactor UASB se encuentra conformado principalmente por dos zonas: la zona de decantación y la de alimentación. Adoptando una altura total del reactor, se calculó el área que ocupará cada uno de ellos y el diámetro que poseen. Según la bibliografía consultada, la zona de alimentación presenta una altura (H2) óptima de 2,5 m, el cual se tomó para el dimensionamiento del reactor.

La carga hidráulica volumétrica (CHV) debe ser menor a 5m3/m3día, por tales razones se verificó que la misma se encuentre por debajo de dicho valor a partir de la siguiente expresión:

$$CHV = \frac{Q_{UASB}}{V_{UASB}}$$

Finalmente, la eficiencia del sistema en términos de DBO depurado, se obtiene utilizando la ecuación presentada a continuación:

$$E_{DBO} = 100\ (1 - 0{,}7\ th^{-0{,}5})$$

En la Tabla AI-2 se presentan los valores adoptados y obtenidos del dimensionamiento de los reactores UASB.

Tabla AI-2: Parámetros del dimensionamiento de los reactores UASB

Dimensionamiento de Reactores UASB		Valor
Adoptado	Tiempo de retención hidráulica th (h)	6
	Altura total del reactor (m)	4
	Altura zona de alimentación H2 (m)	2,5
Caudal de entrada a acada reactor (m3/día)		512,75
Volumen de cada reactor (m3)		128
Área de cada reactor (m2)		32
Diámetro de cada reactor (m)		6,4
Carga Orgánica total a tratar (kgDBO/día)		1260
Carga hidráulica volumétrica total CHV (m3/m3día)		4
Eficiencia de depuración de DBO del sistema (%)		71,5
Concentración de salida DBO (mg/l)		176,6
Área total (m2)		128
Volumen total (m3)		512

Diseño del Lecho Percolador

Una vez que el efluente sale de los reactores UASB, el mismo vuelve a acoplarse en un único canal para el ingreso al reactor de lecho percolador, donde terminará la depuración de la materia orgánica hasta los valores permitidos de vuelco.

Se aplica un porcentaje de reciclaje del 50% del efluente que sale del sistema, con el fin de mantener la concentración de los microorganismos en el mismo. El volumen del reactor se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{LP} = ZA = \frac{Qr\ (-\ln(Se/Si)}{K\ Sa}$$

Donde

V_{LP}: Volumen del Lecho Percolador (m3)

ZA: Producto de la profundidad (Z) y el área superficial (A) del filtro (m3)

Qr: Caudal de ingreso al reactor: QL1 + 0,5 QL1 (m3/día)

Se: Concentración DBO efluente del filtro sedumentado (mg/l)

Si: Concentración DBO influente al lecho percolador (mg/l)

K: Constante de depuración, velocidad observada (m/día)

Sa: Relación área- volumen (m2/m3)

Para el cálculo de la concentración de efluente (Se) y del influente (Si) es necesario conocer la concentración de solubilidad (Ssol) la cual se calcula a partir de la concentración de entrada de DBO al sistema y la concentración de sólidos solubles volátiles (SSV). Ésta última representa un porcentaje de la concentración de los sólidos solubles totales (SST) que posee el efluente a tratar, se adopta que corresponde al 60% del mismo. De esta forma, la concentración de solubilidad Ssol se calcula de la siguiente manera:

$$Ssol = DBOtot - 0{,}63\ SSV$$

Finalmente, las concentraciones del efluente e influente estarán dadas a partir de las ecuaciones presentadas a continuación:

$$Se = Ssol - 0{,}7\ Ssol$$

$$Si = \frac{Ssol + \alpha\ Se}{1 + \alpha}$$

Donde α corresponde al factor de reciclaje del efluente (adimensional).

Volviendo a la ecuación del volumen del lecho percolador, resulta necesario adoptar un valor de Sa y aplicar una corrección de la tasa de depuración K con respecto a la temperatura, a partir de la siguiente expresión (Eckenfelder):

$$K = K_{25}(1{,}08)^{T-25}$$

Donde:

K_{25}: Tasa de depuración a 25°C (m/d)

T: Temperatura del efluente (°C)

En la Tabla AI-3 se presentan los valores adoptados y resultados obtenidos para el lecho percolador, así como también los resultados finales del sistema UASB + Lecho Percolador.

Tabla AI-3: Dimensionamiento del Lecho Percolador y resultados finales del Sistema UASB + Lecho Percolador

Dimensionamiento de Lecho Percolador		Valor
Adoptado	SSV (mg(l)	72.1
	Factor de reciclo α (%)	50
	Relación As/V (m2/m3)	185
	K_{25} (m/d)	0.1
	Profundidad (Z)	2.5
Caudal total de entrada (m3/día)		3076.5
Concentración DBO efluente (mg/l)		99.8
Concentración DBO influente (mg/l)		39.1
Efieciencia de depuración (%)		77
Volumen del lecho (m3)		106
Área del lecho (m2)		42.4
Diámetro del lecho (m)		7.35
Reactor UASB + Lecho Percolador		
Concentración DBO final (mg/l)		39.1
Eficiencia total del sistema (%)		92
Área total ocupada (m2)		170.4

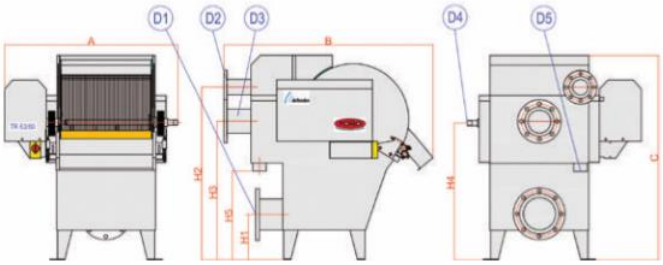
- ANEXO II: CATÁLOGOS Y PRODUCTOS -

AII- 1. Tamiz Rotativo:

- Marca Defender modelo TR Defender Gama 63/150

Tamiz Rotativo Gama 63
Especificaciones Técnicas

defender



Gama 63 - Especificaciones Técnicas, mm (in)																
Modelo	Diámetro Tambor	Longitud Tambor	Potencia Kw (HP)	A	B	C	Salida		Rebose		Entrada		Limpieza		Purga	
							D1	H1	D2	H2	D3	H3	D4	H4	D5	H5
TR 63/60	630 (24 3/4)	600 (23 3/8)	0.55 (0.75)	1,140 (44 7/8)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 250 ANSI 10"	322 (12 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 200 ANSI 8"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)
TR 63/90	630 (24 3/4)	900 (35 3/8)	0.55 (0.75)	1,440 (56 3/4)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 250 ANSI 10"	322 (12 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 200 ANSI 8"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)
TR 63/120	630 (24 3/4)	1.200 (47 2/8)	0.75 (1.00)	1,740 (68 1/2)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 300 ANSI 12"	347 (13 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 250 ANSI 10"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)
TR 63/150	630 (24 3/4)	1.500 (59)	0.75 (1.00)	2,040 (80 3/8)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 350 ANSI 14"	372 (14 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 300 ANSI 12"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)

Gama 63 - Caudales Máximos Agua Limpia, m³/h (US gpm)								
Luz de Malla	Malla de Rejilla ▼▼, mm (in)						Malla Perforada Ø, mm (in)	
Modelo	0.15 (0.006)	0.25 (0.01)	0.50 (0.02)	0.75 (0.03)	1.00 (0.04)	2.00 (0.08)	2.00 (0.08)	3.00 (0.12)
TR 63/60	23 (101)	36 (159)	63 (278)	84 (370)	101 (444)	144 (635)	57 (252)	57 (252)
TR 63/90	35 (152)	54 (239)	95 (419)	127 (558)	152 (670)	217 (957)	86 (380)	86 (380)
TR 63/120	46 (203)	72 (319)	127 (558)	169 (744)	203 (892)	290 (1,276)	115 (507)	115 (507)
TR 63/150	58 (254)	91 (400)	159 (699)	212 (932)	254 (1,118)	363 (1,598)	144 (635)	144 (635)

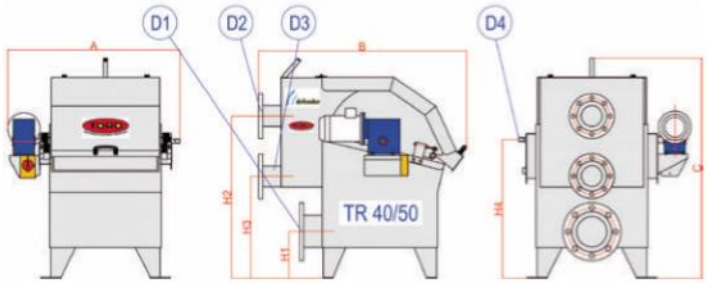
NOTAS:

- Caudales especificados para agua limpia. Habrá de aplicarse una reducción según el tipo y cantidad de sólidos a eliminar. Consulte a nuestro departamento técnico.
- Las dimensiones y especificaciones técnicas pueden variar ligeramente debido al normal desarrollo de los productos por parte del equipo técnico de Toro Equipment, S.L.
- Al realizar su pedido solicite plano de especificaciones.
- Puede encontrar valores más específicos en nuestra página web, **www.toroequipment.com**

- Marca Defender modelo TR Defender Gama 40/50

Tamiz Rotativo Gama 40
Especificaciones Técnicas

defender®



Gama 40 - Especificaciones Técnicas, mm (in)														
Modelo	Diámetro Tambor	Longitud Tambor	Potencia Kw / HP	A	B	C	Salida		Rebose		Entrada		Limpieza	
							D1	H1	D2	H2	D3	H3	D4	H4
TR 40/25	400 (15 3/4)	250 (9 7/8)	0.25 (0.33)	600 (23 5/8)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 100 ANSI 4"	209 (8 1/8)	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 100 ANSI 4"	507 (20)	½"	678 (26 3/4)
TR 40/50	400 (15 3/4)	500 (19 5/8)	0.25 (0.33)	850 (33 1/2)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 150 ANSI 6"	234 (9 1/8)	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 100 ANSI 4"	507 (20)	½"	678 (26 3/4)
TR 40/75	400 (15 3/4)	750 (29 1/2)	0.25 (0.33)	1,100 (43 1/4)	1,025 (40 3/8)	1,087 (42 3/4)	DN 200 ANSI 8"	Inferior	DN 100 ANSI 4"	801 (31 1/2)	DN 150 ANSI 6"	532 (21)	½"	678 (26 3/4)

Gama 40 - Caudales Máximos Agua Limpia, m³/h (US gpm)								
Luz de Malla	Malla de Rejilla ▼▼, mm (in)						Malla Perforada Ø, mm (in)	
Modelo	0.15 (0.006)	0.25 (0.01)	0.50 (0.02)	0.75 (0.03)	1.00 (0.04)	2.00 (0.08)	2.00 (0.08)	3.00 (0.12)
TR 40/25	7 (30)	11 (47)	19 (83)	25 (110)	30 (132)	30 (132)	17 (74)	17 (74)
TR 40/50	14 (61)	21 (94)	36 (165)	50 (220)	60 (264)	60 (264)	35 (153)	35 (153)
TR 40/75	21 (91)	32 (141)	56 (248)	75 (331)	90 (397)	90 (397)	52 (231)	52 (231)

NOTAS:

- Caudales especificados para agua limpia. Habrá de aplicarse una reducción según el tipo y cantidad de sólidos a eliminar. Consulte a nuestro departamento técnico.
- Las dimensiones y especificaciones técnicas pueden variar ligeramente debido al normal desarrollo de los productos por parte del equipo técnico de Toro Equipment, S.L.
- Al realizar su pedido solicite plano de especificaciones.
- Puede encontrar valores más específicos en nuestra página web, **www.toroequipment.com**

AII-2: Agitador Industrial: marca Fluid Mix modelo VTG4

FluidMix
Effective Mixing

SERIE VTG4

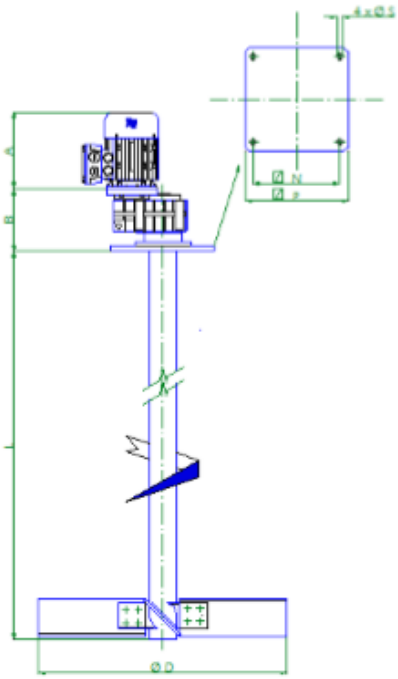
La principal característica de los agitadores VTG4 es su turbina axial de 4 palas. La turbina axial tiene una gran alta potencia absorbida y logra un fuerte efecto de mezclado en tanques de 10 a100 m^3 de volumen. El sentido de rotación de la turbina puede alimentarse fácilmente simplemente cambiando los cables de alimentación de motor. Un robusto reductor de ejes paralelos hace que sea una máquina de mantenimiento fácil, solo para conectar y trabajar. Los agitadores VTG4 pueden ser equipados con más de una turbina.

Características:

- Para tanques de 10 – 100 m3.
- Potencias de: 2,2 kW to 75 kW.
- Velocidad de salida 20 a120 rpm.
- Turbina axial de 4 o 2 palas
- Longitud de eje según altura del tanque.
- Eje y hélice AISI 316, AISI 304, acero al carbon o ebonitadod.

Optional extras:

- Placa en AISI 316 o PVC con retén de aceite.
- Ejecución alimentaria o pulida
- Motores ATEX.
- Bridas DIN o ANSI.



Modelo	Motor kw	rpm	A	B	D	L T L	N	P	S	Kg	Vol. * m3
VTG4											

AII-3: Decantador Centrífugo: marca Kingreat modelo PDC-21

Kingreat marca Decanter centrífuga para 2-separación de fase

FOB **Referencia** Precio: Consiga El Último Precio

$30,000.00 - $100,000.00 / Set | 1 Set/s Decantador centrífuga para separación 2-fase (Pedido mínimo)

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Pago: VISA Online Bank Payment T/T Pay Later WesternUnion WU

Logística de Alibaba.com • Soluciones de inspección • Vista de producción

Descripción general

Detalles rápidos

Condición:	Nuevo	Tipo:	Centrífugo
Tipo de producto:	Aguas residuales separador de líquido sólido	Lugar del origen:	Jiangsu, China
Marca:	Kingreat	Número de Modelo:	PDC
Voltaje:	110,220,380,440,460 V	Energía (W):	Depende del modelo elegir
Peso:	1020-9393 kg	Dimensión (L*W*H):	Depende del modelo elegir
Certificación:	ISO	Aplicación:	Aguas residuales separador de líquido sólido
Moc:	SS304, SS316, DSS	Marca teniendo:	SKF, NSK como opción
Operación:	Totalmente automático	Colocación:	Doble motor con doble transductor
Condiciones de tra...	Suspensión 2%-60%, tamaño sólido más grande que 0.005mm	Velocidad:	Variable
Sólido descarga:	Espiral	PLC:	Opcional
Cambios par:	3.5KNm, 5KNm	Servicio postventa...	Ingenieros disponibles para la puesta en marcha en el extranj...
Garantía:	12 meses		

Capacidad de suministro

Capacidad de sumi... 80 Set/Sets per Month for sewage solid liquid separator

Embalaje y envío

Paquete	Envoltura de película + caso de madera fumigada para aguas residuales separador de líquido sólido
Puerto	Shanghai, Ningbo, Nanjing

Fuente: Alibaba

Detalles del producto | **Perfil de la compañía**

decantadores garantizan una eficiencia de separación óptima en el caso de las suspensiones con una proporción muy alta de sólidos. También se utilizan para la extracción de componentes de líquidos y para la concentración, deshidratación y clasificación de sólidos.

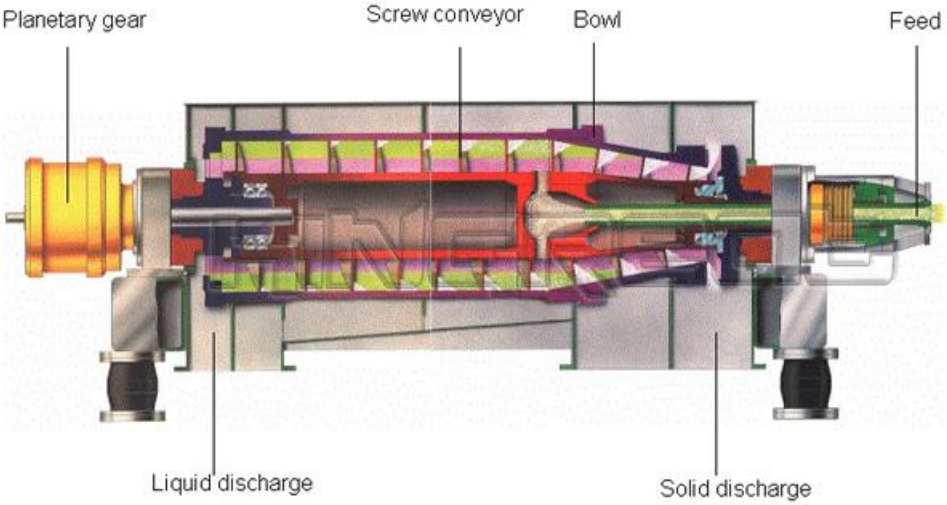
Jarra de diseño

Tipo:2-separación de fase

Material: Acero inoxidable de alta calidad para todas las piezas húmedas

Rodamiento: SKF marca Una selección y arreglo especialesDe rodamientos paraLarga vida útil y fiabilidad excepcional

Ropa de protección: Revestimiento duro soldado o pulverizado¡La tecnología cerámica



Los parámetros

Modelo	Diámetro (Mm)	De velocidad (Rpm)	Fuerza-G	La capacidad de (M^3/H)	Potencia del Motor (Kw)	Peso (Kg)	Dimensión general (L * W * H) (mm)
PNX-409	250	5500	3493	0,2-2	15/4	1020	2500*650*760
PNX-414	355	4000	3175	1-10	18,5/7,5	2035	2765*920*1060
PNX-416	355	4000	3175	1-15	18,5/7,5	2122	3065*920*1060
PNX-418	355	4000	3175	1-25	22/7, 5	2222	3365*920*1060
PDC-1655	420	3000	2113	10-30	55/15	4600	4080*1100*1420
PDC-17-4	420	3600	3042	3-15	30/7, 5	5165	3331*990*1066
PDC-18-4.4	450	3300	2739	10-20	37/11	2739	4000*1120*1239
PDC-20	500	3200	2860	5-45	55/11	4400	4489*1160*1350
PDC-21	540	2800	2366	15-50	45/15	5290	4587*1285*1368
PDC-24	620	3200	3555	15-60	Hidráulico 90	8000	4650*2010*1200
PDC-28HH	720	2200	1975	15-80	110/37	9393	4800*1350*1500

PD: los parámetros anteriores estarán sujetos al acuerdo técnico final.

AII-4: Difusores de Aire: marca Repicky modelo RG-300

REPICKY

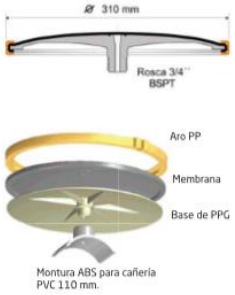
Información Técnica

Los difusores de membrana Repicky se fabrican en dos versiones, de burbuja fina y de burbuja gruesa.

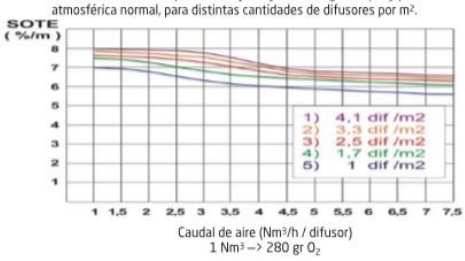
Los primeros, modelo RG- 300 con miles de microperforaciones, permiten obtener valores muy altos de transferencia de O_2 siendo ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.

Difusor de burbuja fina | RG-300

Rango de caudal:	2 a 8 Nm³/hora
Caudal de diseño:	5 Nm³/hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 Nm³/hora 40 mbar para 5 Nm³/hora 70 mbar para 8 Nm³/hora
Densidad:	1 a 6 difusores/m²
SOTE:	15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m³/h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2:	2,5 – 6 Kg. O_2/KWh



Transferencia de O_2 para el modelo **RG-300** por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor [m³/h] a 20 °C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m².



Para otros diámetros o materiales de cañerías consultar el tipo de adaptador.

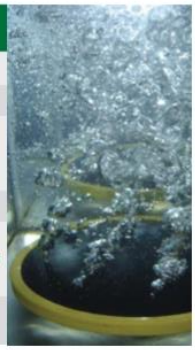
La membrana de EPDM o Acrilo nitrilo de ambos modelos, permite operar en forma intermitente, sin que ingrese líquido a las cañerías sumergidas facilitando el arranque de los sopladores de aire.

Por otra parte los difusores de burbuja gruesa modelo CB-300, se utilizan en tanques de ecualización, digestores aeróbicos y también en cámaras de aireación de efluentes con muy baja demanda de O_2 (DBO).

Consulte por nuevos materiales disponibles para su efluente industrial.

Difusor de burbuja gruesa | CB-300

Rango de caudal:	3 a 25 Nm³/hora
Caudal de diseño:	10 Nm³/hora
Pérdida de carga:	20 mbar para 3 Nm³/hora 40 mbar para 10 Nm³/hora 70 mbar para 25 Nm³/hora
Densidad:	0,5 a 3 difusores/m²
SOTE:	5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m³/h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2:	0,8 – 2 Kg. O_2/KWh



AII-5: Sistema de Ultrafiltración: marca Culligan S.A., modelo ULF-60

Principales referencias

Cliente		Descripción	Caudal (m³/h)
BEBA	Angola	Industria alimentaria	23
COINDA Presidence Palace	Angola	Equipo sobre skid	15
DANIELI Officine Meccaniche	Egipto	Siderurgia	90
EUROMEC para Ministerio de Defensa Italiano	Equipos móviles	4 potabilizadores	10
GULF STEEL & STRANDS	Emiratos Árabes	Servicios industriales	8
HERA S.p.A.	Coriano, (Italia)	Termovalorización	6
MINISTERIO DE DEFENSA Italiano	Equipos móviles	3 potabilizadores de campamento	44
NOVOTEL	Emiratos Árabei	Equipo sobre skid	15
REFRIANGO	Angola	Soft drink	50
SFIR	Brindisi (Italia)	Potabilización	100

Características técnicas

Condiciones de funcionamiento		
Presión máxima alimentación	6.0 bar	87 psi
Pérdida máxima de carga	2.1 bar	30 psi
Presión máxima contralavado	2.5 bar	36 psi
Flujo filtración a 25°C	40-120 l/m²·h	24-70 gfd
Flujo contralavado	100-150 l/m²·h	59-88 gfd
Temperatura de servicio	1-40 °C	34-104 °f
pH funcionamiento	2-11	
Concentración máxima NaOCl (en lavado)	2000 mg/l	

Características del agua bruta	Típico	Máximo
Turbidez, NTU	< 50	300
TSS, mg/l	< 50	100
Diámetro partículas, µm	< 150	300
TOC, mg/l	< 10	40
COD_{Mn}, mg/l		60
Aceites y grasas, mg/l	0	< 2
pH, en servicio	6-9	2-11
pH, en lavado	1-12	1-12
Temperatura de servicio	25 °C	40 °C
Cl_2 en servicio, mg/l	0.5	200
Cl_2 en lavado, mg/l	2000	5000
Frecuencia contralavado	1 cada 20-60 minutos	
Duración contralavado	40-120 segundos	
Frecuencia típica lavado químico	en función del agua bruta	
Productos químicos de lavado	NaOCl, NaOH, HCl, Ácido Citrico	
Contralavado con aire	1 vez al día	

Modelo	Módulos	Caudal máx	Potencia	Conexiones hidráulicas		Medidas (mm)
	n°	m³/h	kW	Entrada H_2O	Permeado	largo x ancho x alto
ULF 10	1	6	2,2	DN40	DN40	1800x2150x2350
ULF 20	2	12	2,2	DN40	DN40	1800x2150x2350
ULF 40	4	24	3	DN50	DN50	1800x2150x2350
ULF 60	6	38	4	DN65	DN65	2300x2150x2350
ULF 80	8	50	4	DN80	DN80	2300x2150x2350
ULF 100	10	62	5,5	DN80	DN80	2750x2150x2350
ULF 120	12	75	7,5	DN80	DN80	2750x2150x2350
ULF 140	14	87	7,5	DN80	DN80	3200x2150x2150
ULF 160	16	100	11	DN100	DN100	3200x2150x2150
ULF 180	18	112	15	DN100	DN100	3400x2150x2350

Alimentación eléctrica: 380V~50Hz trifásica + tierra

EMPRESA CON SISTEMA DE CALIDAD CERTIFICADO SEGÚN UNI EN ISO 9001:2008 y 14.001:2004

Culligan se reserva el derecho a modificar las características técnicas o estéticas de los modelos citados en esta publicación.

GARANTÍA CULLIGAN - La garantía cubre los defectos de fabricación de los materiales o de corrosión según lo especificado en la póliza correspondiente.

CULLIGAN ESPAÑA S.A.
Calle Trepadella 12 - 08755 – Castellbibal, Barcelona (ESPAÑA)
Tel.: +34/935653300 – fax +34/935653309
www.culligan.es

AII-6: Sistema de Ósmosis Inversa: marca Culligan, modelo IW Evo 12

SYSTEM SPECIFICATIONS

Culligan

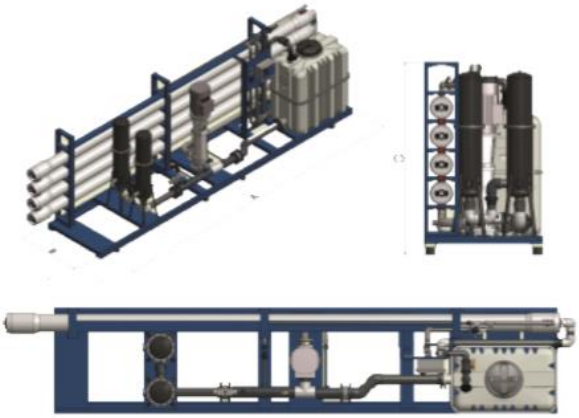
IW EVO
INDUSTRIAL WATER. EVOLVED.

Model	IW Evo 5	IW Evo 8	IW Evo 12	IW Evo 16	IW Evo 24	IW Evo 32	IW Evo 40
Nominal Flow[1](m³/h)	5	8	12	16	23	32	36
Membrane Quantity	4	6	9	12	18	24	30
Vessels x membranes per stage 1°	1X2	1X3	1X3	2X6	2X6	3X6	3X6
2°	1X2	1X3	1X3		1X6	1X6	2X6
3°			1X3				
Pump power (kW) 380V ~ 50Hz-3pH	4	7,5	11	15	15	22	22
Piping : Low Pressure	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Piping : High Pressure	AISI316	AISI316	AISI316	AISI316	AISI316	AISI316	AISI316
Connections							
Feed	1.5"	2"	2"	3"	3"	4"	4"
Product	1,5"	1,5"	2"	2"	2.5"	3"	3"
Reject	1"	1"	1,5"	1.5"	2"	2"	2"
Dimensions (cm) A x B x C	4678x 1195x 1900	3720x 1195x 1940	3720x 1195x 1940	6750x 1250x 1985	6750x 1250x 2130	6750x 1250x 2130	6750x 1250x 2130
Weight (KG)	650	710	950	1280	1370	1600	1850

[1]-Under standard design limits - Nominal capacity based on new RO membranes operating at 75% recovery on a properly pre-treated feed water of 1500 ppm TDS as NaCl, 20 oC, Silt Density index (SDi) below 3, and supplying water to atmosphere

MATERIALS OF CONSTRUCTION

Frame	Epoxy painted galvanised Steel
Membrane Elements	Hydranautics ESPA Max ultra low pressure, high rejection 8" membranes
Membrane Housing	FRP
Low Pressure Pipe	Schedule 80 PVC
High Pressure Pipe	Stainless Steel 316
Cartridge filter housing	Stainless Steel 316



Culligan

CULLIGAN ITALIANA S.P.A.
40057 Cadriano di Granarolo dell' Emilia (BO) ITALY
Via Gandolfi, 6 • Tel. +39 051.6017111 • Fax +39 051.765602
culligan@culligan.it • www.culligan.it

Place your commercial and industrial water treatment needs in the hands of a global leader.

For nearly 80 years, Culligan has made better water. Our global network, comprised of 900+ dealers and international licensees in over 90 countries, is dedicated to addressing your water-related problems. As a worldwide leader in water treatment, our sales representatives and service technicians are familiar with the local water conditions in your area. Being global and local position us to deliver customized solutions to commercial and industrial water issues that affect your business and your bottom line.

AII-7: Agitador Mecánico Vertical: marca Gramix S.A., modelo VTS

AGITADOR VERTICAL SERIE VTS

- Para tanques de 4 – 15 m^3.
- Potencias de: 0,37 Kw. a 2,2 Kw.
- Velocidad de salida 75 a 150 rpm.
- Turbina axial 4 palas.
- Diámetros 400 a 800 mm.
- Longitud eje hasta 2500 mm.
- Eje y Hélice AISI 316, AISI 304, acero al carbono o ebonitado.

EXTRAS OPCIONALES

- Placa de anclaje en AISI 316 con retén de aceite.
- Ejecución alimentaria o pulida.
- Motores ATEX.
- Bridas DIN o ANSI.

Activar Windows

AII-8: Decantador Centrífugo: marca SINO modelo GNL

Decanter Centrifuge For drilling fluids in oilfield

Centrifugal are used to process unweighted and weighted, water-based and oil-based drilling fluids (muds). Mechanical energy is utilized to increase the gravitational force exerted on solids that are present in the mud system. Decanter Centrifuge are able to apply over 3,000 G-forces on the liquid/solids mixture, which separates the heavier solids from the lighter solids.Additionally, high G-forces separate fine solids from liquid.

Mechanical separation of solids from the mud system through the use of a decanter centrifuge is a highly-effective means of maintaining proper mud weight and viscosity. When used in conjunction with other , decanter centrifuge enable users to maintain the mud properties within the prescribed range as per the drilling program. Typically, decanting centrifuge is the final processing units in the arrangement of solids control equipment. Decanter centrifuge preceded by gas busters, gumbo removal equipment (if utilized), (if utilized), and hyrdocyclones.

Model	GNLW450×1100N (Fixed Speed)	GNLW360×1270N(Fixed) GNLW360×1270V (VFD)	GNLW360×1510N(Fixed) GNLW360×1510V(VFD)
Bowl Diameter	450mm	360mm	360mm
Bowl Length	1100mm	1270mm	1510mm
Max Capacity	40m3/h (175GPM)	30m3/h (132GPM)	45m3/h (200GPM)
Bowl Speed (Fixed)	2200RPM (max)	3900RPM (max)	3900RPM (max)
Bowl Speed (VFD)	N/A	0-3900RPM	0-3900RPM
G-Force	1220(max)	3000(max)	3000(max)
Separation point	5~7μm	≥2μm	≥2μm
Main Drive	30kw	30kw	30kw
Back Drive	7.5kw	7.5kw	11kw
Remarks	For fixed speed centrifuge, we have other speed available for your option by using different pulley, please specify your required speed.		

AII-9: Aireador Mecánico: marca Flygt modelo 4320

ADAPTIVE MIXERS

Technical Innovations

Dirigo™ is the intelligent, flexible and submersible Flygt drive unit, which consists of a synchronous permanent magnet motor and an integrated motor control system. It enables advanced functionality, a more reliable system and extended lifetime.

+ Super premium efficiency IE4 equivalent motor

Synchronous permanent magnet motors are super premium according to IEC/TS 60034-30-2 Ed.1. When compared to lower classification such as IE3 – often based on conventional asynchronous technology – motors with IE4 efficiency use less energy.

+ Cost-efficient drive system

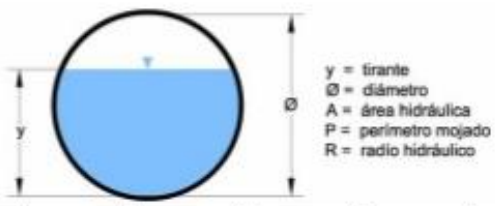
With their perfect match between motor and integrated power electronics, Flygt Adaptive Mixers require less time during the design phase for selection, purchasing, and programming. Installation costs are further reduced thanks to the elimination of several external components: motor protection devices, power and current measurement devices, soft starter, climate control and variable frequency drives.

	Flygt 4220		Flygt 4320		
Rated power, 50/60 Hz	1.1–3.0 kW (1.5–4.0 hp)		2.0–8.0 kW (2.7–10.7 hp)		
Propeller diameter	370 mm (15 in.)	580 mm (23 in.)	1,400 mm (55 in.)	2,000 mm (79 in.)	2,500 mm (98 in.)
Maximum thrust*, N	830	940	3,240	4,540	5,900
Maximum efficiency*, N/kW	470	590	680	1,090	1,580

*According to ISO 21630:2007

- ANEXO III: CONDUCTOS Y BOMBAS –

AIII-1: Relaciones geométricas para secciones circulares parcialmente llenas



$\frac{y}{\phi}$	$\frac{A}{\phi^2}$	$\frac{P}{\phi}$	$\frac{R}{\phi}$	$\frac{y}{\phi}$	$\frac{A}{\phi^2}$	$\frac{P}{\phi}$	$\frac{R}{\phi}$
0,01	0,0013	0,2003	0,0066	0,51	0,4027	1,5908	0,2531
0,02	0,0037	0,2838	0,0132	0,52	0,4127	1,6108	0,2562
0,03	0,0069	0,3482	0,0197	0,53	0,4227	1,6308	0,2592
0,04	0,0105	0,4027	0,0262	0,54	0,4327	1,6509	0,2621
0,05	0,0147	0,4510	0,0326	0,55	0,4426	1,6710	0,2649
0,06	0,0192	0,4949	0,0389	0,56	0,4526	1,6911	0,2676
0,07	0,0242	0,5355	0,0451	0,57	0,4625	1,7113	0,2703
0,08	0,0294	0,5735	0,0513	0,58	0,4724	1,7315	0,2728
0,09	0,0350	0,6094	0,0575	0,59	0,4822	1,7518	0,2753
0,10	0,0409	0,6435	0,0635	0,60	0,4920	1,7722	0,2776
0,11	0,0470	0,6761	0,0695	0,61	0,5018	1,7926	0,2799
0,12	0,0534	0,7075	0,0755	0,62	0,5115	1,8132	0,2821
0,13	0,0600	0,7377	0,0813	0,63	0,5212	1,8338	0,2842
0,14	0,0668	0,7670	0,0871	0,64	0,5308	1,8546	0,2862
0,15	0,0739	0,7954	0,0929	0,65	0,5404	1,8755	0,2881
0,16	0,0811	0,8230	0,0986	0,66	0,5499	1,8965	0,2900
0,17	0,0885	0,8500	0,1042	0,67	0,5594	1,9177	0,2917
0,18	0,0961	0,8763	0,1097	0,68	0,5687	1,9391	0,2933
0,19	0,1039	0,9021	0,1152	0,69	0,5780	1,9606	0,2948
0,20	0,1118	0,9273	0,1206	0,70	0,5872	1,9823	0,2962
0,21	0,1199	0,9521	0,1259	0,71	0,5964	2,0042	0,2975
0,22	0,1281	0,9764	0,1312	0,72	0,6054	2,0264	0,2987
0,23	0,1365	1,0004	0,1364	0,73	0,6143	2,0488	0,2998
0,24	0,1449	1,0239	0,1416	0,74	0,6231	2,0715	0,3008
0,25	0,1535	1,0472	0,1466	0,75	0,6319	2,0944	0,3017
0,26	0,1623	1,0701	0,1516	0,76	0,6405	2,1176	0,3024
0,27	0,1711	1,0928	0,1566	0,77	0,6489	2,1412	0,3031
0,28	0,1800	1,1152	0,1614	0,78	0,6573	2,1652	0,3036
0,29	0,1890	1,1374	0,1662	0,79	0,6655	2,1895	0,3039
0,30	0,1982	1,1593	0,1709	0,80	0,6736	2,2143	0,3042
0,31	0,2074	1,1810	0,1756	0,81	0,6815	2,2395	0,3043
0,32	0,2167	1,2025	0,1802	0,82	0,6893	2,2653	0,3043
0,33	0,2260	1,2239	0,1847	0,83	0,6969	2,2916	0,3041
0,34	0,2355	1,2451	0,1891	0,84	0,7043	2,3186	0,3038
0,35	0,2450	1,2661	0,1935	0,85	0,7115	2,3462	0,3033
0,36	0,2546	1,2870	0,1978	0,86	0,7186	2,3746	0,3026
0,37	0,2642	1,3078	0,2020	0,87	0,7254	2,4039	0,3018
0,38	0,2739	1,3284	0,2062	0,88	0,7320	2,4341	0,3007
0,39	0,2836	1,3490	0,2102	0,89	0,7384	2,4655	0,2995
0,40	0,2934	1,3694	0,2142	0,90	0,7445	2,4981	0,2980
0,41	0,3032	1,3898	0,2182	0,91	0,7504	2,5322	0,2963
0,42	0,3130	1,4101	0,2220	0,92	0,7560	2,5681	0,2944
0,43	0,3229	1,4303	0,2258	0,93	0,7612	2,6061	0,2921
0,44	0,3328	1,4505	0,2295	0,94	0,7662	2,6467	0,2895
0,45	0,3428	1,4706	0,2331	0,95	0,7707	2,6906	0,2865
0,46	0,3527	1,4907	0,2366	0,96	0,7749	2,7389	0,2829
0,47	0,3627	1,5108	0,2401	0,97	0,7785	2,7934	0,2787
0,48	0,3727	1,5308	0,2435	0,98	0,7816	2,8578	0,2735
0,49	0,3827	1,5508	0,2468	0,99	0,7841	2,9413	0,2666
0,50	0,3927	1,5708	0,2500	1,00	0,7854	3,1416	0,2500

Fuente: (Adaptado de: M. Villón).

AIII-2: Diámetros nominales e interiores para tuberías de PVC.

DIÁMETROS NORMALIZADOS (NOMINAL E INTERIOR) PARA TUBERIAS DE PVC				
DN (mm)	**DI (mm)**			
	4 atm	**6 atm**	**10 atm**	**16 atm**
16	–	–	–	13,6
20	–	17,5	–	17
25	22,6	22,6	22	21,2
32	29,6	29,2	28,4	27,2
40	37,2	36,4	36	34
50	47,2	46,4	45,2	42,6
63	59,4	59,2	57	53,6
75	71,4	70,6	67,8	63,8
90	86,4	84,6	81,4	76,6
110	105,6	103,6	99,4	93,6
125	120	117,6	113	106,4
140	134,4	131,8	126,6	119,2
160	153,6	150,6	144,6	136,2
180	172,8	169,4	162,8	153,2
200	192	188,2	180,8	170,4
225	216	211,8	203,4	191,4
250	240,2	235,4	226,2	213
280	269	263,6	253,2	238,4
315	302,6	296,6	285	268,2
355	341	334,2	321,2	302,4
400	384,2	376,6	361,8	340,6
450	432,4	423,8	407	383,2
500	480,4	470,8	452,2	425,8

Fuente: Agrológicas: Autodiagnóstico de plagas (http://blog.agrologica.es/)

AIII-3: Bomba Centrífuga: marca Feiliby. Especificaciones técnicas

Ver imagen más grande

4 pulgadas Acero inoxidable bomba sumergible de aguas residuales bomba centrífuga de lodos 3kw 50m3/H flujo sumergido bomba de lodos

FOB **Referencia** Precio: Consiga El Último Precio

US$ 299,00 - US$ 2.499,00 / Set | 1 Set/s (Pedido mínimo)

Potencia: 4hp

Flujo máximo: 20m3/h

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Pago: VISA Online Bank Payment T/T Pay Later WesternUnion WU

Logística de Alibaba.com · Soluciones de inspección

Bomba centrífuga de bomba de aguas residuales sumergible de acero inoxidable de 4 pulgadas para lodo 3kw 50m3/h bomba de lodo sumergido de flujo

Model	Outlet	Flow	Head	Power	Speed	Voltage
	mm	m^3/h	m	kw	rpm	V
50-10-10-0.75	50	10	10	0.75	2900	220/380
50-7-15-1.1	50	7	15	1.1	2900	220/380
50-15-15-1.5	50	15	15	1.5	2900	220/380
65-25-7-1.5	65	25	7	1.5	2900	220/380
50-15-20-2.2	50	15	20	2.2	2900	380
65-20-15-2.2	65	27	15	2.2	2900	380
80-45-10-2.2	80	45	10	2.2	2900	380
50-15-30-3	50	15	30	3	2900	380
65-37-13-3	65	37	13	3	2900	380
80-45-12-3	80	45	12	3	2900	380
50-15-32-4	50	15	32	4	2900	380
65-20-25-4	65	20	25	4	2900	380
80-40-15-4	80	40	15	4	2900	380
100-50-10-4	100	50	10	4	2900	380
50-15-40-5.5	50	15	40	5.5	2900	380
65-25-32-5.5	65	25	32	5.5	2900	380
80-30-30-5.5	80	30	30	5.5	2900	380
100-65-18-5.5	100	65	18	5.5	2900	380
80-45-22-7.5	80	45	22	7.5	2900	380
100-80-15-7.5	100	80	15	7.5	2900	380
150-100-10-7.5	150	100	10	7.5	2900	380
100-100-25-11	100	100	25	11	1450	380
150-130-15-11	150	130	15	11	1450	380
200-300-7-11	200	300	7	11	1450	380
100-100-30-15	100	100	30	15	1450	380
150-180-15-15	150	180	15	15	1450	380
200-250-11-15	200	250	11	15	1450	380