

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
ESCUELA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL

---

# TRATAMIENTO DE FENOLES EN EL EFLUENTE DOMÉSTICO DE UN CAMPAMENTO MINERO.

---

*Proyecto Final Integrador de carrera para el título de ingeniería ambiental*

AUTORA: MAGALÍ AILÍN VILARIÑO

LEGAJO: 7475

TUTOR: HUGO NIELSON Y FEDERICO BAILAT.

CÁTEDRA PFI: ING. FEDERICO BAILAT, ING. RUTH RODRIGUEZ, ING. VERA MIGNAQUI.

DIRECCIÓN DE LA CARRERA: MG. ING. DIANA MIELNICKI

COORDINACIÓN DE LA CARRERA: ING. MARÍA SOLEDAD VILLAVERDE

Agradecimientos

A mi mamá, que me transmitió desde muy chica el amor por la naturaleza.

A mi papá, que me espero incontables noches a que saliera de cursar.

Sin lugar a duda, junto con Lorenzo y mis hermanos, mi apoyo incondicional y guía durante toda esta etapa.

A mi familia de la UNSAM, amigos con los que compartí cursadas, fines de semana y noches de estudio, viajes, salidas y mucho más. Fueron lo más lindo de esta etapa y el empuje necesario para llegar hasta acá. Que lindo es haber crecido juntos y poder seguir haciéndolo hoy después de tantos años.

A Mica, Juls, Cata y Laki, sin ellos nada de esto hubiera sido posible. Fueron y siempre serán mi mejor equipo.

A Belu, mi guía en este lío, la persona que siempre me escucha, aconseja y banca.

A Facu, Jose, Meli, Ivanna, Emi y todos los docentes y compañeros del laboratorio de química y biología 2, con quienes aprendí a amar la docencia, pero sobre todo a disfrutar y divertirme en el trabajo. Su pasión contagia.

A Hugo por darme la oportunidad única de conocer la mina en San Juan y hacer mi PFI sobre el tema, una experiencia que me hizo crecer como profesional.

A todos los docentes que tuve durante estos años, la pasión y calidez con la que se enseña en la UNSAM hizo de estos años una experiencia inigualable en mi vida y llena de disfrute.

## RESUMEN EJECUTIVO

Los lodos producto del proceso de depuración de los efluentes cloacales del campamento minero contienen altas concentraciones de compuestos orgánicos fenólicos, que le otorgan la caracterización de residuos peligrosos. La carencia de una opción de disposición adecuada en la provincia de San Juan insta a la empresa a acopiarlos. El objetivo de este proyecto consiste en solucionar la problemática ambiental en cuestión.

El emplazamiento del proyecto se sitúa en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, colindante con Chile, en el Departamento de Iglesia, al noroeste de la Provincia de San Juan. Estas particularidades geográficas poseen relevancia significativa en términos de accesibilidad, condiciones climáticas y altitud sobre el nivel del mar, factores importantes en la formulación de soluciones a la problemática planteada.

Inicialmente, la fase de diagnóstico incluyó un relevamiento exhaustivo de las dificultades presentes en la mina, así como una campaña de medición de caudales y un proceso de muestreo y caracterización del efluente. Con base en estos datos, se exploraron dos alternativas. La primera aborda la modificación del tratamiento del efluente responsable de la generación de los lodos, con el fin de reducir la concentración de fenoles desde su origen hasta el producto final. La segunda se enfoca en el diseño de un relleno sanitario de seguridad y un sistema de pretratamiento de los lodos, que permita su disposición final controlada en las proximidades del proyecto.

La primera alternativa requirió inicialmente un análisis teórico exhaustivo de diversas tecnologías de tratamiento, con el propósito de seleccionar la opción más adecuada en términos de eficiencia y aplicabilidad, tomando en consideración las condiciones particulares del proyecto. En este sentido, se optó por un proceso de oxidación basado en la tecnología Fentón. Además, se implementó un sistema de desbaste para mejorar el proceso de tratamiento existente y garantizar la integridad de las unidades de oxidación Fentón. Por último, se incorporó un sistema de compostaje para los lodos generados, permitiendo su reutilización como abono para el suelo.

Ambas alternativas fueron desarrolladas con base en investigaciones bibliográficas sólidas, y sus cálculos detallados se presentan en la documentación correspondiente. Se llevó a cabo un análisis de los costos de inversión, operación y mantenimiento para ambas alternativas, utilizándose esta información para llevar a cabo una evaluación final de viabilidad técnica y económica, que condujo a la elección definitiva.

La alternativa seleccionada consiste en el tratamiento del efluente mediante un sistema de oxidación Fentón, complementado con una planta de compostaje para los lodos generados. Para esta elección, se incluyen planos de construcción, un estudio de impacto ambiental y un plan de gestión ambiental vinculado al proyecto. En concordancia con estos elementos, se puede afirmar con certeza que este proyecto es factible desde los puntos de vista técnico, socioambiental y económico.

**ÍNDICE**

Resumen ejecutivo .....	3
Capítulo 1: Introducción .....	8
1.1 Justificación y objetivos .....	8
1.2 Actividad minera.....	9
1.3 Contexto histórico .....	11
1.4 Situación de la minería metalífera .....	13
Capítulo 2: Contexto del proyecto .....	15
2.1 Descripción general del proyecto.....	15
2.2 Geologías y reservas .....	15
2.3 Procesos.....	16
2.3.1 Perforación y voladura .....	17
2.3.2 Trituración .....	17
2.3.3 Sistema de lixiviación en valle .....	18
2.3.4 Proceso Merrill-crowe .....	19
2.3.4 Remoción de mercurio y refinación del metal doré.....	20
2.4 Mitigación de impactos ambientales .....	20
2.4.1 Emisiones.....	20
2.4.2 Residuos sólidos .....	21
2.4.3 Mercurio .....	21
2.4.4 Consumo de agua .....	22
2.4.5 Residuos y Efluentes líquidos .....	22
2.4.6 Valle de lixiviación .....	22
Capítulo 3: Diagnóstico.....	24
3.1 Contexto .....	24
3.1.1 Aspectos geográficos.....	24
3.1.2 Composición y operación .....	24
3.2 Análisis de la problemática.....	26
3.2.1 Planificación del muestreo .....	28
3.2.2 Muestreo y resultados.....	30
Capítulo 4: Normativa .....	31
4.1 Nacional.....	31
4.1.1 Generales.....	31

4.1.2 Residuos.....	32
4.1.3 Agua.....	33
4.1.4 Aire .....	33
4.1.5 Flora y fauna .....	33
4.1.6 Suelos.....	33
4.1.7 Minería .....	33
4.1.8 Seguridad e higiene .....	34
4.2 Provincial .....	34
4.2.1 General .....	34
4.2.2 Agua y residuos.....	35
Capítulo 5: Alternativas de tratamiento.....	35
5.1 Biológicas.....	35
5.1.1 UASB .....	36
5.1.2 ATAD .....	37
5.2 Oxidación Avanzada .....	38
5.2.1 UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	39
5.2.2 Fentón.....	40
5.2.3 Ozono.....	42
5.3 Análisis de alternativas.....	45
Capítulo 6: Diseño del tren de tratamiento .....	47
6.1 Memoria Descriptiva .....	49
6.1.1 Rejas y Cámara de bombeo .....	50
6.1.2 Tamiz.....	50
6.1.3 Tratamiento Fentón.....	52
6.1.4 Sedimentador primario .....	53
6.1.5 Compostaje de lodos .....	54
6.2 Memoria de cálculo .....	63
6.2.1 Rejas y cámara de bombeo .....	63
6.2.2 Tamiz estático.....	66
6.2.3 Fentón.....	67
6.2.4 Compostaje de lodos .....	74
6.2.5 Sistema de conducción e impulsión .....	78
Capítulo 7: Diseño del Relleno sanitario de seguridad.....	83

7.1 Requisitos mínimos - decreto 831/93 .....	84
7.1.1 Restricciones para la Disposición Final de Residuos peligrosos .....	84
7.1.2 Impermeabilización de base y taludes; Drenajes .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.1.3 Requisitos para su diseño .....	84
7.2 Estabilización/Solidificación .....	86
7.2.3 Sistema S/S con cemento y carbón activado.....	87
7.3 Memoria descriptiva.....	88
7.3.1 Ubicación .....	89
7.3.2 Pretratamiento .....	91
7.3.3 Tipo de disposición y volumen .....	92
7.3.4 Impermeabilización de fondo y taludes .....	93
7.3.5 Lixiviados .....	97
7.3.6 Cobertura superior .....	99
7.3.7 Caminos y accesos .....	101
7.3.7 Gases.....	102
7.3.8 Construcción.....	102
7.3.9 Operación .....	109
7.3.10 Cierre y post cierre .....	111
7.4 Memoria de cálculo .....	111
7.4.1 Volumen del relleno .....	111
7.4.2 Generación de lixiviados.....	112
Capítulo 8: Computo y presupuesto.....	114
8.1 Inversión inicial.....	114
8.2 Costos de Operación, mantenimiento y consumo energético .....	117
Capítulo 9: Análisis de alternativas .....	118
Capítulo 10: Planos .....	120
Capítulo 11: Estudio de Impacto Ambiental.....	120
11.1 Metodología .....	121
11.2 Descripción del proyecto.....	121
11.2.1 Etapa de construcción .....	122
11.2.3 Etapa de operación.....	123
11.2.4 Etapa de cierre.....	123
11.3 Localización.....	124

11.3 Área de influencia.....	124
11.4 Línea de base ambiental.....	125
11.4.1 Características climáticas de la región.....	125
11.4.2 Geomorfología.....	127
11.4.3 Hidrología .....	129
11.4.4 Flora y fauna .....	131
11.4.5 Áreas protegidas.....	134
11.4.6 Aspectos socioeconomicos.....	135
11.5 Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales .....	136
11.5.1 Identificación de acciones y factores .....	137
11.5.2 Metodología de evaluación de impactos .....	138
11.5.3 descripción de impactos.....	140
11.6 Plan de gestión ambiental .....	143
11.6.1 Medidas de mitigación de impactos.....	144
11.6.2 Plan de Monitoreo Ambiental .....	146
11.6.3 Plan Estratégico de Emergencias y Contingencias .....	147
11.6.4 Programa de Capacitación y Entrenamiento.....	148
11.6.5 Cumplimiento del PGA .....	149
11.6.6 Desafectación y Abandono.....	149
Capítulo 12: Conclusiones .....	150
Bibliografía.....	151
Anexos .....	155
Anexo 1 .....	155
Anexo 2 .....	158
Anexo 3 .....	159
Anexo 4 .....	161
Anexo 5 .....	162
Anexo 6 .....	163
Anexo 7 .....	166
Anexo 8 .....	167
Anexo 9 .....	168
Anexo 10: Planos .....	169

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El proyecto se centrará en los efluentes del tipo doméstico, generados en un campamento minero ubicado en la provincia de San Juan, y los lodos producto de su tratamiento, que se encuentran caracterizados como residuos peligrosos por su alto contenido de fenoles. En base a esto, se comenzará este capítulo haciendo una breve justificación e introducción al problema ambiental que se buscará solucionar y los objetivos propuestos para ello.

Este proyecto se encuentra enmarcado en una mina de oro y plata, lo que presenta una situación excepcional en cuanto a la ubicación geográfica, gestión y operación de las plantas de tratamiento con las que se trabajará. Así como también, una línea de base que debe ser considerada a la hora de proponer posibles soluciones al problema ambiental en cuestión. Sin embargo, resulta de vital importancia dar una solución a estos problemas ambientales de forma tal que se pueda continuar con estas actividades de la forma más sustentable posible, debido a su gran importancia para el desarrollo económico de la región.

A raíz de esto, el primer capítulo buscará también introducirse en el contexto de la industria Minera en la Argentina. Para ello, primero es necesario entender las características generales que presenta esta actividad económica. Con este fin, se describirán brevemente las etapas que representan a un proyecto minero y las principales actividades desarrolladas en cada una. Por otro lado, se hará un corto recorrido por la historia de la actividad minera en la Argentina, haciendo hincapié en la minería metalífera, particularmente la de oro y plata y su situación en el país.

### 1.1 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El tratamiento de aguas residuales hoy en día abarca desde sistemas simples de recolección con filtración y posterior descarga a cuerpo de agua, hasta sofisticadas plantas de tratamiento con niveles de tratamiento terciario. Los productos de dichos procesos de tratamiento son principalmente efluentes líquidos y sólidos en forma de lodos. Cuanto mayor sea el nivel de tratamiento alcanzado, mayor será el volumen de sólidos que se generarán.

Sin embargo, la solución final que se le da a estos lodos varía mucho según el lugar del mundo en el que nos encontremos. Estos pueden ser enviados a disposición final en rellenos sanitarios, utilizados como fuente de energía, tratados y utilizados en la tierra como fertilizantes y acondicionadores del suelo o incluso pueden utilizarse como materia prima. Pero a pesar de los conocidos beneficios, su reciclaje no es una práctica que actualmente se lleve a cabo de forma universal.

En un contexto mundial de creciente preocupación por las enfermedades, el cambio climático, la contaminación ambiental y la escasez de recursos, existe una necesidad imperiosa de adoptar los usos beneficiosos de los lodos generados a partir del tratamiento de aguas residuales y no considerar a estos subproductos como un residuo. En base a esto, es importante encontrar formas de aprovechar este recurso al máximo como parte del desarrollo de comunidades sostenibles. Para ello, estos deben ser tratados y usados de manera segura de acuerdo con las buenas prácticas ambientales y de seguridad e higiene. Para evitar así, que resulten peligrosos para la salud humana y el ambiente.

A raíz de ello, el proyecto que aquí propongo pretende abordar el problema antes descripto enmarcándose en los campamentos que se encuentran ubicados en las inmediaciones de una mina en San Juan. Los lodos generados a partir del tratamiento de las aguas cloacales de dichos campamentos son considerados residuos peligrosos por su alto contenido en fenoles, según el decreto reglamentario N° 1.211/07 de la provincia de San Juan. Por otro lado, desde 2020 la empresa que allí trabaja se encuentra acopiando aquellos residuos peligrosos que deberían ser enviados a un relleno de seguridad, debido a la falta de un operador habilitado en la región que pueda darles una disposición final controlada.

Así, han logrado identificarse dos líneas de trabajo para intentar dar solución a dicho problema, que serán detalladas a lo largo de este proyecto final integrador. Por un lado, se analizará el diseño de un sistema de tratamiento complementario al actual existente, que permita cumplir con los parámetros indicados en la normativa, para el posterior aprovechamiento de los lodos generados en una planta de compostaje. Por otro lado, se analizará el diseño de un relleno de seguridad, cercano a la ubicación de la mina, que permita la disposición final de los lodos generados en su carácter de residuo peligroso con el beneficio económico y ambiental en términos de emisiones, que esto implica.

## 1.2 ACTIVIDAD MINERA

La minería o actividad minera es una actividad económica que consiste en la búsqueda, extracción, procesamiento y comercialización de sustancias minerales que existen en la corteza terrestre. Estos recursos se hallan formando depósitos o yacimientos que son explotados en regiones geográficamente aisladas exigiendo así, fuertes inversiones en infraestructura de desarrollo (Sarudiansky & Nielson, 2009). Puede darse mediante dos procedimientos distintos de extracción, a cielo abierto o subterránea. Su explotación involucra las etapas de prospección, exploración, construcción, producción y/o explotación y finalmente el cierre de la mina.

Las etapas de prospección y exploración de un proyecto minero se corresponden con la búsqueda y dimensionamiento de los depósitos minerales e implican aportes importantes de capital de riesgo (Sarudiansky & Nielson, 2009). El ciclo de vida de cada mina comienza ubicando dónde pueden estar presentes los minerales, evaluando el tamaño y la calidad del depósito y observando las realidades económicas de la extracción. Durante la planificación minera se abordan factores tales como la sostenibilidad, las expectativas de la comunidad, los métodos de minería, las consideraciones técnicas, la infraestructura, el procesamiento y las opciones de mano de obra. Cada etapa de planificación considera la viabilidad económica de la mina, ponderando los riesgos del negocio frente a la probabilidad de obtener ganancias en un mercado de minerales volátil (Morales, 2021).

Luego, tiene lugar la operación de la mina, la cual tiene como objetivo extraer un recurso de la manera más segura y eficiente, ya sea por explotación subterránea o superficial. Esta fase de operación es la extracción propiamente dicha, el procesamiento y comercialización de los minerales. Donde se vuelven más intensos los controles, el seguimiento y la gestión del proyecto, con el fin de que las operaciones se adapten constantemente a las condiciones del mercado técnico

y social (Morales, 2021). La extensión de esta etapa depende del tamaño de cuerpo mineral identificado en la exploración, pero en general, es de varias décadas (Sarudiansky y Nielson, 2009).

Finalmente, todo proyecto minero eventualmente será cerrado. Algunas minas se cierran debido a razones económicas o logísticas, mientras que otras simplemente se quedan sin mineral viable para extraer. En algunos casos, las minas pueden cerrar temporalmente hasta que los mercados mejoren (Morales, 2021). El cierre de la mina debe ser planificado desde los primeros estadios del proceso minero y su ejecución comienza ya en la etapa de explotación. Comprende aspectos técnicos ambientales, sociales y económicos. Desde el punto de vista ambiental las actividades apuntan a dejar el área impactada por las operaciones mineras en condiciones similares a las originales. Desde el punto de vista social y económico las actividades apuntan a que, luego de que finalice la explotación, las comunidades involucradas continúen beneficiándose del cambio generado por la actividad minera con otras actividades productivas o comerciales (Sarudiansky & Nielson, 2009).

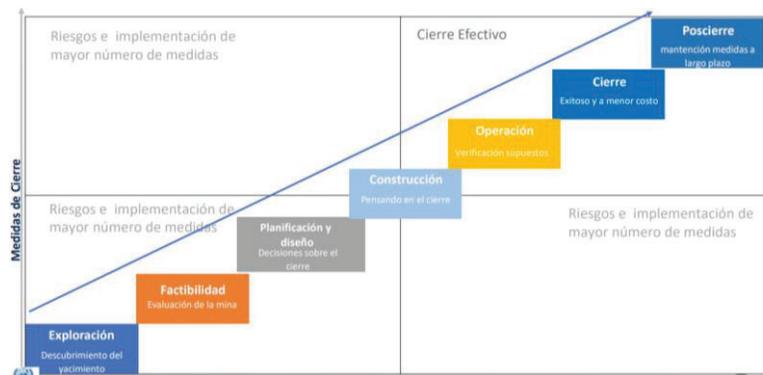


FIGURA 1: CICLO DE VIDA DE LA MINA Y EL CIERRE PROGRESIVO (MORALES, 2021)

Como bien se mencionó, la actividad minera puede darse mediante dos procedimientos distintos de extracción, a cielo abierto o subterráneo. Cuando hablamos de explotación de recursos debajo de la superficie de la tierra se trata de minería subterránea. Esta comienza con el descubrimiento de una concentración de mineral con un valor económico rentable como para compensar la construcción de una mina. Todas las minas subterráneas tienen algunas características en común: los ejes de ventilación para eliminar las emisiones tóxicas de las perforaciones, las rutas de escape, los ejes de acceso para bajar trabajadores y equipos, los túneles de transporte de mineral, los pozos de recuperación para llevar el mineral excavado a la superficie y los sistemas de comunicación para pasar información entre la superficie y los niveles inferiores de la mina. Las explotaciones subterráneas representan un riesgo mayor para los trabajadores ya que se encuentran expuestos a derrumbes, gases y otras sustancias tóxicas. La productividad también se limita, ya que no se pueden utilizar máquinas tan grandes como las usadas en la minería a cielo abierto (Ingeoexpert, 2018).

Por otro lado, las minas a cielo abierto son aquellas explotaciones mineras que tienen lugar en la superficie. Para que puedan ser llevadas a cabo es precisa la excavación, mediante maquinaria o explosivos, de los terrenos que rodean al yacimiento. Es rentable cuando el yacimiento no es muy profundo o cuando el terreno es arenoso o delicado, de modo

que la minería subterránea no sea posible. Los costos de trabajo son menores, tanto en excavación como en transporte, y permiten utilizar maquinaria grande. No precisa de iluminación artificial y permite el uso de explosivos de cualquier tipo, sin olvidar que la seguridad y la higiene de los trabajadores es mejor (Ingeoexpert, 2018).

Según (Sarudiansky & Nielson, 2009), se pueden destacar cinco tipos diferentes de métodos extractivos en la minería a cielo abierto. El primero consiste en la explotación por recolección (Harvesting Mining) donde se siembra una superficie con agua formando lagunas que permiten la disolución de las sales presentes y su ascenso a la superficie. Luego, al evaporarse el agua, se forman diferentes capas por deposición de estas sales que son retiradas con palas y luego enviadas a un proceso de separación. Usualmente, se utiliza en la extracción del litio, magnesio y potasio.

Por su parte, la explotación por Canteras o Quarry Mining se aplica especialmente para la extracción de cuerpos mineralizados que se encuentran dispuestos en forma de mantos horizontales a poca profundidad de la superficie. Para ello, se destapan “franjas” del terreno que cubre el mineral y luego de la extracción se cubren con el material no mineralizado. Grandes yacimientos de carbón, hierro y manganeso se explotan aplicando este método extractivo.

La explotación Aluvial o Alluvial Mining se aplica para la extracción de sustancias minerales que han sido transportadas por el agua luego de erosionar el cuerpo mineralizado original. Es el método utilizado usualmente para extraer “pepitas” de oro, diamantes y otro tipo de minerales o gemas resistentes a la erosión.

Finalmente, la explotación a Tajo o Rajo Abierto u Open Pit es el método de explotación que más se utiliza en yacimientos no muy profundos, de gran tamaño y donde la mineralización está diseminada. Tienen un rol importante la forma y dimensión del tajo, en superficie y en profundidad, y la geometría y tamaño del cuerpo mineralizado. La extracción se realiza mediante explosivos y el mineral es luego transportado a la planta de procesamiento.

El procesamiento del mineral comienza en todos los casos con la trituración y molienda que facilitan la liberación del mineral en la roca. Durante el procesamiento de los minerales metalíferos se aprovechan sus propiedades físicas y químicas para separar el producto que se busca obtener de la matriz mineral en la que se encuentran. Pueden aplicarse uno o varios métodos de concentración entre los que se encuentran la concentración gravimétrica, la separación por medios pesados, la flotación, la separación magnética y la lixiviación en pilas.

En conclusión, la extracción minera es una de las principales actividades económicas de numerosos países en el mundo. Se trata de una fuente de recursos vital para la mayoría de las industrias, que sirve de materia prima en la elaboración de diversos objetos y maquinarias. Entre ellas se puede destacar la industria química, siderúrgica, manufacturera y tecnológica.

### 1.3 CONTEXTO HISTÓRICO

Según (García, Díaz, Calveti, & Cano, 2016) la minería en Argentina comienza oficialmente en el año 1813 con la sanción de la Ley de Fomento Minero que buscó incentivar la investigación y explotación de los minerales nacionales.

Años más tarde, durante la presidencia de Domingo Faustino Sarmiento, se inspeccionaron todos los depósitos mineros de la nación, lo que permitió obtener un registro detallado de los yacimientos mineros presentes, destacándose la potencialidad de los metalíferos. Luego en 1887, con la sanción del Código de Minería de la Nación, el subsuelo y sus riquezas pasaron a ser propiedad del Estado. No obstante, el nuevo marco, permitió la explotación de la minería privada. Es así como el desarrollo de la minería y de la industria metalúrgica, se dio llegados los años '30 producto de la iniciativa privada local y extranjera.

Sin embargo, durante los primeros años del siglo pasado, la extracción tenía lugar únicamente en las provincias de San Juan y Mendoza y era escasa en comparación con los niveles que permiten los procesos y las tecnologías actuales. Durante la primera mitad del siglo XX se experimentó un progreso moderado con el descubrimiento de yacimientos de tungsteno, estaño, hierro, plomo, plata, zinc, cobre y petróleo. Asimismo, tanto la primera como la segunda guerra mundial y la crisis financiera internacional de 1930 fueron claros disparadores del desarrollo y crecimiento de distintos sectores productivos de la economía argentina, virando de una economía básicamente agroexportadora a una de incipiente desarrollo industrial. En línea con esto, se observó entre los años 1914 y 1930 un cambio en los capitales extranjeros que predominaban en la Argentina, pasando de capitales ingleses a americanos. Sin embargo, esto duro hasta principios de la crisis del '30 donde el estado intervino con emprendimientos públicos con el objetivo de continuar evaluando los suelos y explotando los recursos mineros con una orientación exclusiva para la provisión de insumos para la industria.

Durante esta etapa tuvieron lugar las primeras prospecciones de hierro (en Sierra de Zapala, Jujuy y Sierra Grande, Río Negro), carbón (en Río Turbio, Santa Cruz) y cobre (en Tinogasta, Catamarca), entre otros. El período de tiempo que cubrieron estas dos décadas y las que siguieron hasta 1960, estuvieron representadas por un proceso de industrialización continuo que requirió de mayores insumos provenientes de la minería. La producción del sector minero alcanzó una participación promedio del 1,1% en el PBI durante la década del '60 y para fines de esta producía alrededor de 120 mil toneladas conjuntas de los principales minerales (oro, plata, zinc, plomo y cobre). En este período tuvo lugar también la sanción de normas específicas que buscaron mejorar las condiciones y el ambiente de negocios para favorecer la explotación minera.

A fines de los '60 y comienzos de los '70 tuvieron lugar algunos proyectos de exploración de minerales metalíferos fomentados tanto por el incremento que venía observándose en los precios externos como por las dificultades que encontraban las empresas en el extranjero para desarrollar su actividad. Se estima que, entre principios de esta década y la vuelta de la democracia en 1983, la tasa de crecimiento del sector fue del 3% anual promedio. Sin embargo, el gran salto de crecimiento del sector, principalmente en lo que respecta a la producción de oro, cobre, plata y aluminio, se registró a partir de los '90 gracias a la batería de modificaciones que se impulsaron al cuerpo normativo que regía hasta entonces, en conjunto con el grado de apertura del país y una estructura de precios externos atractivos que fomentaron la llegada de empresas extranjeras, principalmente canadienses y australianas. En este nuevo contexto se pusieron en marcha varios yacimientos tales como Salar del Hombre Muerto (producción de litio), Bajo de la Alumbrera (extracción

de cobre, oro y plata) en Catamarca y Cerro Vanguardia en Santa Cruz (principalmente oro). La producción conjunta de oro, plata, aluminio, cobre, plomo y zinc advirtió un crecimiento del orden del 104% entre 1990 y 1999.

Para comienzos del nuevo siglo, la suma de la producción de estos minerales había alcanzado las 500 mil toneladas y el PBI del sector minero crecía a tasas del 5% al 7% anual. Asimismo, durante esta etapa argentina comenzó a participar activa y crecientemente en la exportación de algunos minerales básicos para la producción industrial tales como el cobre, el oro y otros no metalíferos como el litio. A la apertura de los yacimientos anteriores y preexistentes, se sumaron los de Veladero (2005, extracción de oro y plata) y Guacamayo (oro y plata) en San Juan, Mina Pirquitas en Jujuy (2009, donde tiene lugar la producción de palta y zinc) y Potasio Río Colorado en Mendoza (2010). La multiplicación de yacimientos de producción mineral, principalmente metalífera y las reformas implementadas, transformaron no solo la estructura de producción del sector minero nacional, sino que, al mismo tiempo impulsaron ciertos rubros industriales que, al utilizar intensivamente estos recursos, se vieron favorecidos por un mercado doméstico de insumos en pleno auge y beneficiaron el proceso de industrialización por sustitución de importaciones.

El inicio del ya conocido ciclo de incrementos que experimentaron los precios de la mayor parte de los commodities a partir del año 2003, en respuesta a las presiones que ejercieron las principales economías emergentes sobre la demanda internacional de insumos y factores (principalmente China y la India), se ha señalado como el principal factor o determinante del resurgimiento o boom de la actividad minera en la Argentina en el nuevo siglo. Que fue acompañada por las reformas regulatorias que tuvieron lugar en los '90 y en el 2001. Del mismo modo, cabe señalar que la mega devaluación del peso contra el dólar ocurrida en 2002 redujo los costos de producción de las empresas mineras locales, lo que, en conjunto al contexto de precios elevados, contribuyó a explicar el desempeño del sector durante estos años.

A lo largo de las últimas dos décadas el comportamiento de la producción nacional de estos recursos ha estado ligada a la evolución de los precios internacionales, por lo que la contribución local a la producción mundial ha crecido de manera sostenida principalmente luego del año 2006 y en conjunto al ciclo de incrementos en el precio internacional de los commodities. En 2014 se produjeron alrededor de 900 toneladas conjuntas de oro y plata, y 625 mil toneladas conjuntas de aluminio, cobre, plomo y zinc con un acervo de 73 mil personas empleadas en toda la actividad, de las cuales una porción importante estaba dedicada a la extracción de minerales metalíferos. En lo que respecta a exportaciones, importaciones y el balance de comercio, el sector, ha sido tradicionalmente deficitario hasta 1997. Sin embargo, comenzó a mostrar signos positivos luego de ese año, logrando incluso mantener el superávit de la cuenta comercial. En términos generales, las exportaciones del sector minero han crecido más del 800% entre 1997 y 2013.

#### **1.4 SITUACIÓN DE LA MINERÍA METALÍFERA**

En la actualidad la minería metalífera en Argentina se caracteriza por operaciones y proyectos en los que los principales productos son el oro, la plata, el plomo y el zinc. Se encuentran funcionando 8 establecimientos donde el metal principal es oro, acompañado de plata, 4 en donde el producto mayoritario es plata, siendo el coproducto el oro en 3 de ellas y plomo y zinc en la otra, y 1 depósito con producción combinada de plomo, plata y zinc. Además, se están construyendo

3 minas de oro, de distinta escala que se sumarían a la producción en corto plazo. No hay operaciones de cobre en la actualidad, sin embargo, existen 7 proyectos en etapa avanzada, varios de los cuales pueden ser considerados de clase mundial por sus dimensiones y contenido metálico (Minería, 2020).

En la tabla del anexo 1, se observan las principales operaciones mineras metalíferas que se encuentran operando en la Argentina. La misma fue realizada a partir de datos del informe realizado por la Secretaría de Minería sobre el primer semestre del 2020.

Argentina tiene potencial para hacer crecer su capacidad productiva ya que cuenta con un total de 33 proyectos con recursos identificados de este tipo, y más de 250 prospectos u ocurrencias minerales en zonas con alto potencial geológico. Se muestran en la tabla del anexo 2 los principales proyectos mineros metalíferos y su estado de avance según el informe del primer semestre confeccionado por La Secretaría de Minería en 2020.

En cuanto a la producción de oro en Argentina, en 2019 fue de 1,71 millones de onzas, representando una disminución interanual del 9,09%. Como se puede observar en el gráfico a continuación, en orden de importancia en la producción en 2019, al igual que en 2018, se encuentra en primer lugar Santa Cruz con 1,02 millones de onzas, en segundo lugar, San Juan con 0,67 millones de onzas y en tercer lugar Catamarca con 0,02 millones de onzas. En 2019 el valor total de la producción argentina de este metal sumó 31.530,6 millones de pesos.

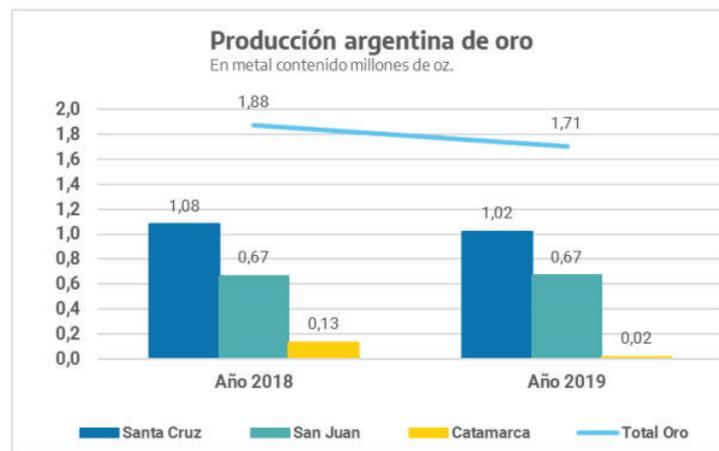


FIGURA 2: PRODUCCIÓN DE ORO EN ARGENTINA AÑOS 2018, 2019. (SECRETARÍA DE MINERÍA, 2020)

En cuanto a la producción de plata, en el año 2019 fue de 33,43 millones de onzas, lo que representó un incremento interanual del 1,57%. En orden de importancia en la producción en 2019, se encuentra en primer lugar Santa Cruz con 24,44 millones de onzas, en segundo lugar, Jujuy con 8,7 millones de onzas, en tercer lugar, Catamarca con 0,16 millones de onzas y por último San Juan con 0,14 millones de onzas. El valor total de la producción argentina de plata contenida en 2019 alcanzó los 8.467,6 millones de pesos (Minería, 2020).

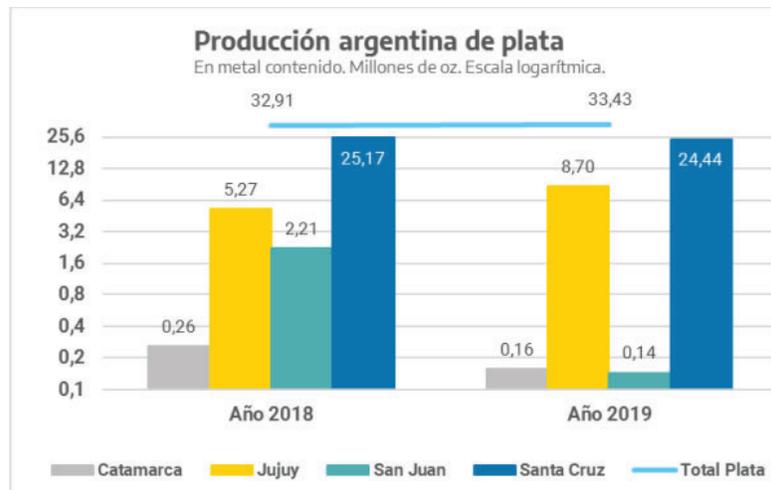


FIGURA 3: PRODUCCIÓN ARGENTINA DE PLATA. (SECRETARÍA DE MINERÍA, 2020)

## CAPÍTULO 2: CONTEXTO DEL PROYECTO

Como bien se mencionó, es importante entender el contexto en el que se sitúa el proyecto a desarrollar y para ello, comprender el proceso productivo de la mina y la mitigación de impactos ambientales que tienen lugar durante su proceso productivo. Es por esto, que se dedicará este capítulo a explicar el proceso de extracción de oro.

Con este objetivo, en septiembre 2021 tuve la oportunidad de pasar 2 semanas conociendo la mina, lo que me permitió interiorizarme más con el proceso productivo y poder conocerlo en primera persona. A continuación, en el capítulo se incluirán imágenes tomadas durante mi estadía allí. Toda la información presentada en el mismo fue obtenida de la Evaluación de Impactos Ambientales presentada por la empresa y los datos recolectados durante mi estadía.

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto minero se trata de la explotación a cielo abierto de una mina de oro y plata. Se encuentra ubicado en la parte noroeste de Argentina, en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, limítrofe con Chile. Administrativamente, se localiza en el Departamento de Iglesia, en la parte noroeste de la Provincia de San Juan, a una distancia aproximada de 374 km, al noroeste de la ciudad de San Juan, y entre los 4.000 y 4.850 m s.n.m cubriendo una superficie total de 130 km<sup>2</sup>.

### 2.2 GEOLOGÍAS Y RESERVAS

Se encuentra ubicado en la franja mineralizada El Indio. Se depositaron en la cuanta hacia fines del Terciario Flujos y tobas volcánicas, además de rocas asociadas de origen intrusivo. El yacimiento de oro y plata corresponde a un depósito de óxido epitermal hospedado en un complejo diatrema-domo del Mioceno. El depósito forma una amplia capa diseminada de mineralización de 3 km a lo largo de un corredor. La mineralización está controlada por estratigrafía, sistemas estructurales y elevación.

La parte principal del depósito se encuentra entre los 4.100 y 4.300 m de elevación. El depósito ha sido dividido en tres sectores principales, Amable en el sur, Cuatro Esquinas en el centro y Filo Federico en el norte. Todos los sectores del depósito se caracterizan por presentar el mismo estilo de mineralización. La alteración del sistema está caracterizada por asociaciones típicas de alta sulfuración con un núcleo de sílice, que hacia el exterior va pasando a asociaciones de alteración de sílice, alunita, y luego argílicas. La mineralización de oro se asocia predominantemente con el núcleo silicificado compuesto por sílice, hematita, goethita y jarosita.

### 2.3 PROCESOS

La explotación del proyecto está dada mediante métodos de producción tradicionales como lo son la explotación a cielo abierto del cuerpo mineralizado y la lixiviación del mineral acopiado en el valle del Río Potrerillos. El yacimiento presenta una mineralización que se corresponde bien con la cianuración. Por lo tanto, las operaciones unitarias de procesamiento del mineral incluyen:

- Trituración en dos etapas a un tamaño bajo de 32 mm, a un ritmo de procesamiento de 36.000 Tn/día.
- Lixiviación en pilas en un Sistema de Lixiviación en Valle (SLV).
- Planta de proceso Merrill–Crowe, donde el oro y plata contenido en la solución rica son precipitados por adición de polvo de zinc y de nitrato de plomo.
- Un horno, en el cual los precipitados del proceso Merrill–Crowe se funden para producir barras de Metal Doré.

Las principales instalaciones de infraestructura incluyen los 3 rajos mencionados anteriormente (Filo Federico, Amable y Argenta). Así como también, la planta de trituración, sistema de lixiviación, planta de Merrill-Crowe y dos áreas que almacenan los 702 millones de toneladas de estéril que serán generadas durante la vida útil de la explotación minera (escombrera norte y escombrera sur).

Adicionalmente a las principales instalaciones productivas, en el sitio del Proyecto se encuentran diversas obras e instalaciones de servicios y áreas auxiliares que incluyen oficinas administrativas, de ingeniería y logística; talleres de mantenimiento y bodega; galpón para almacenar los explosivos y otro con el cianuro; obras para el almacenamiento de combustible; un laboratorio metalúrgico; una garita y otras instalaciones de seguridad.

Finalmente, se cuenta en el proyecto con dos campamentos para el personal trabajando. El campamento A con capacidad para alrededor de 7800 personas que es el que hoy en día se encuentra en operación. Y el campamento B, con capacidad para alrededor de 3800 personas, que en el 2021 solo se encontraba habilitado un sector que era utilizado para el aislamiento de personas Covid Positivo. Ambos campamentos cuentan con una planta de tratamiento de efluentes cloacales y una planta de potabilización de agua.

### 2.3.1 PERFORACIÓN Y VOLADURA

La primera etapa del proceso de extracción es la perforación y posterior voladura por niveles horizontales. La perforación se realiza en un esquema regular (malla de perforación), para lo cual se utilizan equipos de perforación rotativos. El explosivo principal que se utiliza es el ANFO4 (carga de columna). Esto es realizado diariamente.

El mineral y/o estéril obtenido de la voladura queda en el frente de trabajo, desde donde se carga mediante palas mecánicas hidráulicas y/o cargadores frontales en camiones mineros convencionales. Los camiones transportan el material estéril hacia las escombreras y el mineral a las trituradoras.



FIGURA 4: IMAGEN DE LOS CAMIONES UTILIZADOS PARA EL TRASLADO DEL MATERIAL Y MINERAL.

### 2.3.2 TRITURACIÓN

Los camiones descargan el mineral directamente en la tolva de recepción correspondiente a la trituración primaria, que tiene una capacidad para 354 Tn. El mineral es triturado en una trituradora giratoria, que opera con un tamaño nominal de producto de 175 mm. El producto de esta trituración es transferido mediante un sistema de cintas transportadoras, hasta un acopio intermedio de mineral triturado grueso.

Posteriormente, el mineral triturado grueso es transferido hasta dos zarandas vibratorias, mediante un sistema de cintas transportadoras. Estas zarandas están provistas de dos pisos: el superior, con una abertura de 100 mm, y el inferior, con una abertura de 32 mm. El producto recolectado por la zaranda superior, que tiene un tamaño mayor, alimentará a dos trituradoras de cono, que operan en un circuito abierto con un tamaño final del producto de 32 mm. El producto de la zaranda inferior y de la trituración es transferido a un silo de acopio de mineral triturado fino.

El circuito de trituración cuenta con dos trampas magnéticas para remover metales, una en la descarga del alimentador y la otra en la alimentación a las trituradoras secundarias.

### 2.3.3 SISTEMA DE LIXIVIACIÓN EN VALLE

A continuación, el mineral triturado alimentará el Sistema de Lixiviación en Valle (SLV) que consiste en un dique en cuyo interior se lleva a cabo la operación de lixiviación y el manejo de soluciones del proceso por fases que contienen distintas celdas operativas. Cada celda tiene capacidad para albergar 250.000 Tn. Esta instalación fue diseñada bajo el concepto de operación en circuito cerrado, es decir que su base y muro están completamente impermeabilizados para contener las soluciones del proceso. En 2021, se ha abierto una nueva fase de operación del valle, la fase 6, que opera independientemente del valle de lixiviación que se tenía previamente en operación. En la imagen a continuación, se puede observar la fase I del valle de lixiviación “viejo” de frente.



FIGURA 5: IMAGEN DE FRENTE DE LA FASE UNO DEL VALLE DE LIXIVIACIÓN "VIEJO"

La solución rica, conteniendo 0,5 g/l de NaCN, es bombeada hacia la pila de lixiviación mediante una red de tuberías y aspersores por los cuales es aplicada sobre la celda a una tasa de riego de aproximadamente 10 l/h/m.



FIGURA 6: IMAGEN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.

Las soluciones cargadas de metal que drenan de la pila son colectadas por un sistema de cañerías de recolección que luego por medio de bombas lo llevan a la planta de procesamiento. Por otro lado, por debajo de la membrana secundaria se tiene una pileta de contención que se encuentra en el interior del valle de donde se bombea la solución rica no clarificada que queda allí retenida hacia la planta de procesamiento.

El mineral ROM (del inglés Run off Mine), corresponde a mineral que no es triturado, es decir, es dirigido a la pila de lixiviación directamente desde el rajo. Este material es lixiviado junto con el mineral proveniente del circuito de trituración.

---

#### 2.3.4 PROCESO MERRILL-CROWE

Las soluciones cargadas con oro y plata que se obtienen del circuito de lixiviación en pilas son enviadas a un circuito de precipitación con zinc denominado proceso Merrill-Crowe.

El proceso inicia con la clarificación de la solución en un sistema que está compuesto por cuatro filtros de presión. Mediante esta operación se eliminan las partículas en suspensión que puedan contaminar el precipitado. Los filtros prensa se encuentran revestidos con tierra de diatomea. A intervalos regulares, uno de ellos sale de operación (cargado) y es reemplazado por una unidad revestida. El filtro cargado es entonces lavado con solución pobre para descargar la torta retenida por el filtro; la pulpa resultante es transferida a un sumidero y posteriormente a un tanque de disposición de pulpa, desde donde será bombeada a la pila de lixiviación para su disposición final. Los filtros de presión, fuera del ciclo para su limpieza, son posteriormente revestidos y preparados para continuar con el ciclo de filtrado.

La solución rica clarificada, conteniendo aproximadamente 2 mg/l de sólidos en suspensión, es transferida a dos torres de vacío, que reducen el contenido de oxígeno disuelto de la solución de 5 ppm a menos de 1 ppm. La desaireación se efectúa para maximizar la eficiencia de la precipitación y evitar la reacción del zinc con el cianuro residual, y del cianuro con el oro y la plata precipitados.

Posteriormente, la solución sin oxígeno es succionada desde el fondo de la torre de vacío por medio de una bomba centrífuga. En el tramo de tubería que conforma la zona de succión se introduce, sin tomar contacto con la atmósfera, el zinc y nitrato de plomo en forma de lechada, con lo cual ocurre inmediatamente la precipitación del oro y la plata. El precipitado resultante prosigue hacia la próxima etapa de filtración para su recuperación.

A intervalos regulares, uno de los cuatro filtros sale de operación y es reemplazado por uno de reserva. Seguidamente, se le sopla aire por aproximadamente 12 horas, para reducir la humedad de la torta de precipitados. El filtro cargado es abierto y la torta, conteniendo oro, plata, mercurio, restos de zinc e impurezas menores, tales como cobre, níquel, plomo, hierro y sulfuros, es descargada sobre un contenedor de retorta. Finalmente, esta torta prosigue al proceso de refinación del Metal Doré.

El líquido filtrado, junto con el agua fresca que se agrega según sea necesario, es enviado al tanque de solución pobre. Dicha solución es dosificada con cianuro de sodio y antincrustante, así como con cal para ajustar el pH. Esta solución pobre ajustada y transformada en solución rica lixivante es bombeada a la pila de lixiviación, a través de una red de tuberías para ser reutilizada.

### 2.3.4 REMOCIÓN DE MERCURIO Y REFINACIÓN DEL METAL DORÉ

El precipitado aurífero resultado de la filtración es transferido a contenedores denominados bandejas. En la medida que se van llenando dichas bandejas, los hornos de retorteo se cargan con ellas. Al conjunto de bandejas situadas al interior del horno se les aplica calor bajo condiciones de vacío parcial, durante aproximadamente 18 horas, a una temperatura entre los 705° y los 730°C. La temperatura de la retorta se incrementa en etapas para que el material pueda secarse totalmente antes de que el mercurio comience a vaporizarse. Inicialmente se aplica calor hasta una temperatura de 90° a 120°C para remover el agua y luego se aumenta a una temperatura de 730°C para remover el mercurio. Este proceso de aplicación lenta de calor da el tiempo necesario para que el mercurio migre como vapor, hacia la superficie de las partículas. El horno se mantiene a temperatura máxima durante 2 o 3 horas para asegurar que se vaporice, como mínimo, un 99,9% del mercurio total presente en el precipitado. Este vapor luego pasa a través de un condensador donde es enfriado con agua y se recolecta como mercurio líquido. Finalmente, es retirado y colocado en frascos especiales, sellado bajo agua y enviado a almacenamiento y disposición final, como se verá más adelante en este capítulo.

Las tortas de precipitado del retorteo se enfrían, se llevan a una balanza de precipitado donde se pesan y se colocan en contenedores sellados para su almacenamiento antes de fundirse. Posteriormente, el precipitado es fundido en un horno de arco eléctrico para obtener el Metal Doré. Para ello, se agrega una mezcla de varios fundentes, escorificantes, ceniza de soda, bórax y sílice. La proporción y cantidad de cada uno de ellos depende de las impurezas del precipitado. El metal fundido se vierte en lingoteras de 1.000 onzas troy (31 kg). Finalmente, las barras de Metal Doré son almacenadas en la bóveda de seguridad hasta su embarque.

## 2.4 MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

### 2.4.1 EMISIONES

Las principales emisiones del proceso corresponden a emisiones de material particulado y emisiones fugitivas. Las primeras se encuentran asociadas fundamentalmente a los procesos de voladura, trituración, clasificación y traspaso de mineral y las segundas al proceso de recuperación de mercurio y fundición del metal.

El sistema de control de polvo en la trituradora primaria y secundaria consiste en la supresión de estos con agua rociada sobre la tolva de alimentación mediante aspersores. Además, se encuentran asociadas a un sistema de aspiración que los capta y retiene sobre filtros. Para el control de polvo en los puntos de transferencia de mineral, estos se encuentran parcialmente cubiertos y se encuentra instalado un sistema de captación de polvo en cada uno de ellos. Los polvos que se captan ingresan por filtros manga, diseñados para operar con un 85% de eficiencia, y son dispuestos en la cinta transportadora de la trituradora primaria. Asimismo, para controlar la generación de polvo en los caminos se riega, según las condiciones climáticas, con distintas concentraciones y mezclas de bichofita y melaza que permiten la supresión de polvos. Finalmente, como resultado de la voladura se genera un material fino denominado steamheated que es

depositado en las escombreras. Para suprimir el polvo se lo tapa con material más grueso y se riega con una mezcla de bichofita y melaza.

En cuanto a los gases generados durante la recuperación del mercurio, estos pasan por un sistema de carbón activado en seco que permite recuperar las trazas de mercurio, de modo de evitar que se emitan a la atmósfera. El filtro de carbón impregnado con azufre está diseñado para adsorber hasta 1 libra de mercurio antes de requerir su reemplazo.

Los vapores y polvos remanentes de la fundición son colectados por una campana, conducidos hasta un sistema que separa las partículas en función de su tamaño, denominado ciclón y luego a un filtro de mangas de alta temperatura. Los sólidos que se colectan en este sistema son reciclados en el horno de fundición, durante la operación.

---

#### 2.4.2 RESIDUOS SÓLIDOS

Como consecuencia de la explotación, se generan estériles de mineral de forma masiva, que son removidos de la mina y depositados en escombreras. El mineral remanente de la lixiviación también constituye un residuo y es depositado dentro del mismo valle de lixiviación.

Por otro lado, los residuos sólidos urbanos (RSU) se generan principalmente en el área del campamento A que consiste en el comedor, las habitaciones y los baños. También se generan RSU, aunque en menor cantidad, en las áreas de oficinas de la instalación industrial y área mina. Aquellos que pueden ser segregados como reciclables son enviados a San Juan para su recuperación. El resto de los RSU que no son recuperables son enviados a destino final en un relleno sanitario en San Juan.

Los residuos industriales del Proyecto se generan principalmente en las operaciones auxiliares y en la mantención de los equipos y maquinarias que se emplean para la operación de la mina y el procesamiento del mineral. También se generan residuos industriales en el área de abastecimiento, así como en el laboratorio químico, aunque en menor proporción. Son considerados residuos industriales también, aquellos lodos provenientes de las plantas de tratamiento de efluentes cloacales. Todos estos se encuentran catalogados como peligrosos, por lo que mientras sea posible, son enviados a San Juan para ser tratados por un operador de residuos peligrosos.

Por último, se generan también residuos patogénicos provenientes del policlínico, tales como gasas en desuso, jeringas, envases de medicamentos y guantes. Estos depósitos son recolectados por una empresa autorizada para su disposición final y son transportados a San Juan para su incineración en un horno pirolítico.

---

#### 2.4.3 MERCURIO

El mercurio es un subproducto del proceso de recuperación del oro y la plata. El transporte, tratamiento y disposición final de este residuo en Alemania es realizado de acuerdo con los permisos sectoriales, las leyes y regulaciones argentinas,

europas y los convenios internacionales de Basilea, que regula el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, y de Minamata, sobre el manejo y gestión responsable del mercurio.

Para el diseño del lugar de almacenamiento transitorio, se tuvo en cuenta el tipo de sustancia, contención, sismo-resistencia, características geográficas y condiciones climáticas. Luego, para su transporte terrestre al puerto de Bahía Blanca, es colocado en botellones de alta resistencia homologados y herméticos de 2 toneladas. De Argentina a Europa el transporte se realiza por medio marítimo en buques navieros de carga. En Suiza, la empresa Baltrec estabiliza el mercurio agregando un reactivo que convierte al mercurio metálico en cinabrio, que es el único compuesto de mercurio más estable, no tóxico y el más insoluble. El cinabrio se envasa en bidones de acero y se transporta a su destino final en una mina subterránea en Alemania con los más altos estándares de trazabilidad y seguridad. Al momento, se han hecho dos envíos de 100 tn de mercurio a Alemania. El primero fue en 2019 y el segundo en el primer trimestre de 2021.

---

#### 2.4.4 CONSUMO DE AGUA

La tasa estimada de agua fresca requerida para el proceso es de 110 l/s, asumiendo un rendimiento de planta de procesamiento de mineral de 36.000 t/día más 11.000 t/día de ROM. Sin embargo, esa tasa de flujo incluye un margen de seguridad y actualmente se consumen menos de 57 l/s. El consumo de agua fresca se satisface a partir de una galería de infiltración de agua de superficie del Río de Las Taguas.

El principal consumo de agua en el proceso ocurre en el valle de lixiviación donde se utiliza el agua para la preparación de la solución cianurada con la que se realiza el riego del mineral. La principal pérdida de agua durante este proceso ocurre producto de la evaporación que se da naturalmente por tratarse de grandes superficies de terreno expuestas a las condiciones climáticas y a una gran altura. Por otro lado, se utiliza agua para el control de polvo en caminos y durante la trituration del mineral. Finalmente, se utiliza agua potable para consumo en el campamento.

---

#### 2.4.5 RESIDUOS Y EFLUENTES LÍQUIDOS

Los residuos y efluentes líquidos que se generan durante la operación de la mina son, por un lado, aceites y lubricantes que son enviados a disposición final en San Juan. Por otro lado, aguas cloacales, provenientes del uso doméstico en los campamentos y los laboratorios, que son tratadas y volcadas a través de lechos de infiltración. Además, en menor medida, se tiene el efluente producto del lavado de talleres de mantenimiento mecánica, que es recolectado y enviado a tratamiento en San Juan.

---

#### 2.4.6 VALLE DE LIXIVIACIÓN

La totalidad de la superficie inferior del dique cuenta con un sistema de impermeabilización que impide la fuga de soluciones. Este sistema está compuesto por una membrana secundaria más cercana a la superficie del terreno que retiene la mayor parte del líquido de lixiviación, permitiendo el paso de un porcentaje de este, esto fue diseñado así con

el fin de disminuir la presión en la geomembrana, así como también conducir los drenajes post cierre. El líquido que filtra a través de esta membrana es recolectado en una pileta que se encuentra por debajo del valle y luego bombeado a la planta de procesamiento. Por debajo de esta pileta se tiene una serie de capas de grava y suelo y luego una segunda membrana cuyo objetivo es el de no permitir que filtren los lixiviados. En caso de fugas se cuenta con un sistema de monitoreo que permite su rápida detección y un sistema de bombas que permite su recolección en una pileta de contención para su posterior retorno a la superficie del valle de lixiviación.

Por otro lado, dado que se trata de un valle que presenta naturalmente escurrimiento de aguas superficiales y subterráneas, se cuenta con sistemas para el desvío y conducción de dichas aguas de modo que no ingresen al valle de lixiviación. Para ello se construyeron dos canales de desvío que rodean al valle (figura 7) y que interceptan y conducen dichas aguas hacia una pileta de descarga que se encuentra aguas abajo (figura 8). En dicha pileta se hacen análisis de control diarios y si estos se encuentran dentro de los parámetros naturales, se descargan en el río. En caso de un incidente son bombeadas hacia el interior del valle de lixiviación.



FIGURA 7: IMAGEN DEL CANAL SUR QUE RODEA EL VALLE DE LIXIVIACIÓN

Finalmente, para el manejo de las aguas subterráneas se construyó un sistema de drenes, por debajo del sistema de impermeabilización del valle, que capta estas aguas y las conduce mediante un dren central hacia la pileta de descarga que se ubica aguas abajo (figura 8).



FIGURA 8: IMAGEN DE LA PILETA DE DESCARGA

## CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO

En este capítulo se buscará explicar en mayor detalle, el problema que se tiene con los efluentes del tipo doméstico que se generan en la mina. Así como también, la composición y operación de las plantas de efluentes cloacales existentes. Por otra parte, se detallará la información recolectada durante mi estadía en la mina, la planificación de los muestreos realizados y los resultados obtenidos para la caracterización del efluente que ingresa a las plantas. Esto último será clave para poder avanzar con una de las dos líneas de trabajo, donde se buscará disminuir la concentración de fenoles en el efluente, para así poder compostar los lodos generados y reutilizarlos como abono.

### 3.1 CONTEXTO

Como se mencionó en el capítulo anterior, la mina cuenta con dos campamentos que se encuentran a 8 km entre sí. Por un lado, el campamento B donde se encuentran el hotel, que en el 2021 se ponía únicamente en funcionamiento cuando era necesario aislar personas Covid positivas, y la lavandería que continuaba en uso. Por otro lado, el campamento A, que es donde se alberga todo el personal trabajando en la mina desde 2018. Además, el proyecto cuenta con distintas oficinas a lo largo del predio y del camino a la mina, áreas operativas y garitas. Todas estas cuentan con sanitarios que envían sus efluentes a las plantas de tratamiento de cloacales. Actualmente se cuenta con 3 plantas de tratamiento de cloacales en operación en el predio, una ubicada en las inmediaciones del campamento A, conocida como planta A, otra ubicada en las inmediaciones del campamento B, denominada STP#6, y otra ubicada en el camino a la mina que se la conoce como STP#7.

---

#### 3.1.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

La planta ubicada en el campamento A se encuentra a 4.300 m.s.n.m, la planta STP#6 se encuentra a 3.900 m.s.n.m y la planta STP#7 se encuentra a 3.800 m.s.n.m. El nivel freático se encuentra a 3.764,6 m.s.n.m. La temperatura promedio mensual en la zona es cíclica, con valores entre los -25°C y los -5°C entre mayo y septiembre, los cuales aumentan a 13°C y 25°C de octubre a febrero. Existen grandes variaciones de temperatura diurna durante todo el año. Durante los meses de verano, la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada es de aproximadamente 25°C. Durante los meses de invierno, la variación diurna puede ser de hasta 45°C.

Las velocidades promedio mensuales del viento oscilan entre 13 y 19 km/h. La velocidad del viento instantánea máxima, es decir la velocidad del viento máxima medida a cada hora, con frecuencia alcanza los 70 km/h y en algunas ocasiones puede pasar los 200 km/h.

---

#### 3.1.2 COMPOSICIÓN Y OPERACIÓN

La planta de tratamiento ubicada en las inmediaciones del campamento A recibe un caudal medio de 586 m<sup>3</sup>/día de efluente. El efluente proviene de baños y duchas presentes en el campamento, de la limpieza del campamento y de las

cocinas del comedor. Además, la planta recibe efluentes recolectados por camiones atmosféricos de 5 fosas diferentes a donde llegan efluentes de baños y cocinas ubicadas en distintos puntos del predio. Todos estos efluentes son recolectados en un ecualizador y enviados a un pozo de donde son bombeados a dos trenes de tratamiento en paralelo. La planta está diseñada para tratar un caudal de 1.000 m<sup>3</sup>/día.

El tratamiento, como se puede observar en el diagrama de la figura 9, comienza con un ecualizador y pozo de bombeo que mezcla los distintos efluentes a tratar en esta planta, luego va a un tamiz estático que permite remover los sólidos gruesos, luego pasan a un ecualizador con un sistema de agitación por difusión de aire, después a una cámara anóxica donde se comienza con la degradación de la materia orgánica, luego pasa por un reactor biológico aerobio donde se termina de consumir la materia orgánica y finalmente a un sedimentador secundario que permite recircular los lodos y purgarlos según sea necesario. El líquido clarificado va a una cámara de cloración por contacto, una cámara de registro y luego a un lecho de infiltración. El lodo purgado del sedimentador secundario, y en caso de que sea necesario, del reactor biológico y la cámara anóxica, pasa primero por un digestor pequeño y luego es enviado a un digestor aerobio más grande donde se mezcla con los lodos obtenidos del otro tren de tratamiento y los que son traídos de las plantas de tratamiento STP#6 y STP#7. A continuación, se le agrega floculante en una cámara pequeña e inmediatamente se filtra con un filtro prensa.

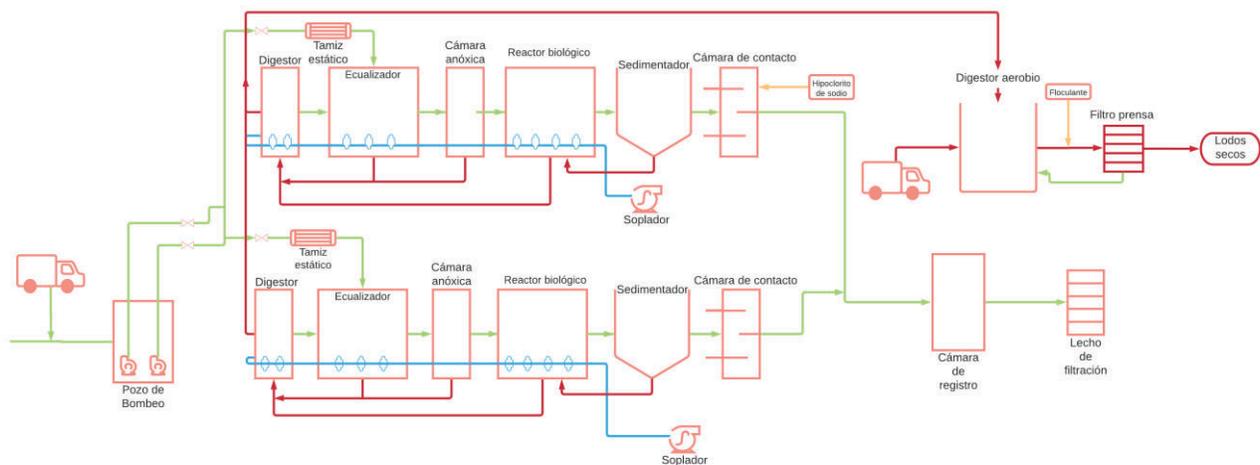


FIGURA 9: DIAGRAMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES UBICADA EN EL CAMPAMENTO A.

La planta de tratamiento STP#6, recibe principalmente los efluentes de la lavandería y de los baños que se encuentran ubicados cerca. En caso de que se tengan personas aisladas por Covid en el hotel, los efluentes de este también son enviados a esta planta. Recibe 70 m<sup>3</sup>/día de efluente.

Los efluentes recolectados van a un pozo de donde son bombeados a un ecualizador, luego pasan a un reactor biológico, seguido por un sedimentador secundario de donde el líquido clarificado va a una cámara de cloración y luego a lechos de infiltración. Los lodos generados son recirculados al reactor biológico hasta que sea necesario purgarlos y ahí pasan a un digestor aerobio. En este digestor son recolectados por un camión atmosférico y enviados al digestor aerobio

ubicado en las inmediaciones del campamento A para finalizar allí su tratamiento. En la figura 10 se muestra el diagrama de esta planta. Es importante destacar, que en las inmediaciones del campamento B se cuenta con una planta de tratamiento de efluentes idéntica a la mencionada previamente que se encuentra fuera de uso y otra planta de pretratamiento que cuenta con un filtro y una unidad de floculación, también fuera de uso.

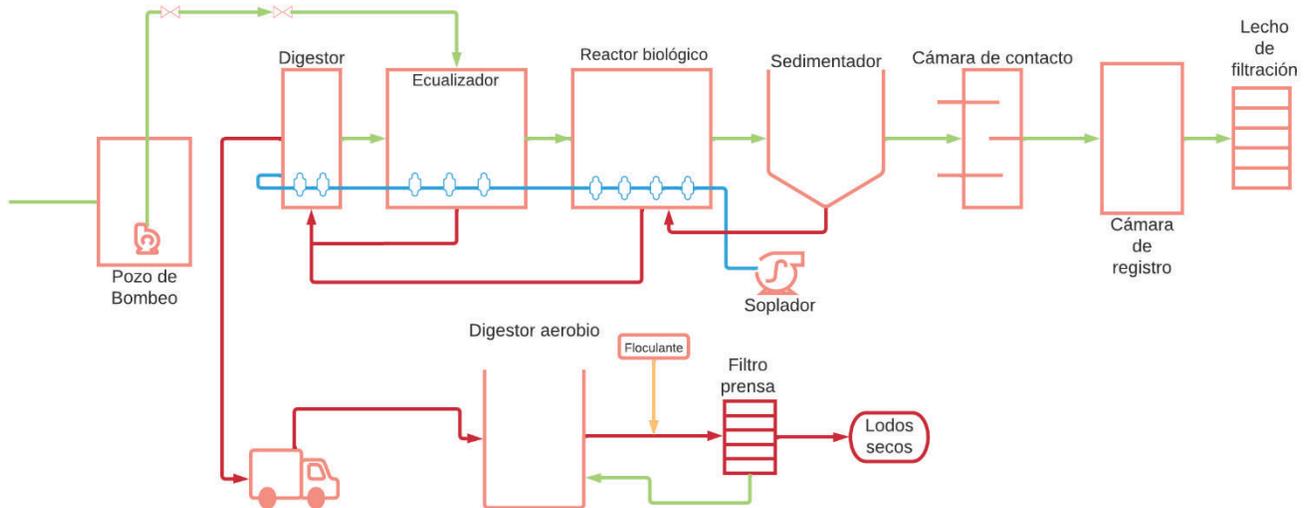


FIGURA 10: DIAGRAMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES STP#6.

La planta de tratamiento ubicada en el camino a la mina, denominada STP#7, colecta 70 m<sup>3</sup>/día de efluentes de baños y una cocina pequeña que se encuentran en este punto. Esta cuenta con las mismas unidades de tratamiento que la planta de tratamiento ubicada en el campamento B y al igual que esta sus lodos son enviados a tratamiento en el digestor y filtro ubicado en la planta de A.

### 3.2 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

El origen de la problemática a desarrollar se encuentra en los lodos finales que se obtienen de la planta de tratamiento de A. La secretaría de ambiente de San Juan exige que se los analice y compare con los parámetros establecidos por el decreto 1211/07 (anexo 2) para definir si deben ser caracterizados como residuos peligrosos o se los puede disponer como residuos sólidos urbanos. Para la caracterización del lodo, se tendrán en consideración los análisis realizados por la empresa en 2020 y principios de 2021. En estos, la concentración de fenoles se encontraba por encima de lo dispuesto en la normativa.

A continuación, se muestra la variación en la concentración de fenoles a lo largo del año 2020 (figura 11) y primera mitad del 2021 (figura 12). Como se puede ver en estos gráficos, el límite indicado por la normativa es de 0,1 mg/l.

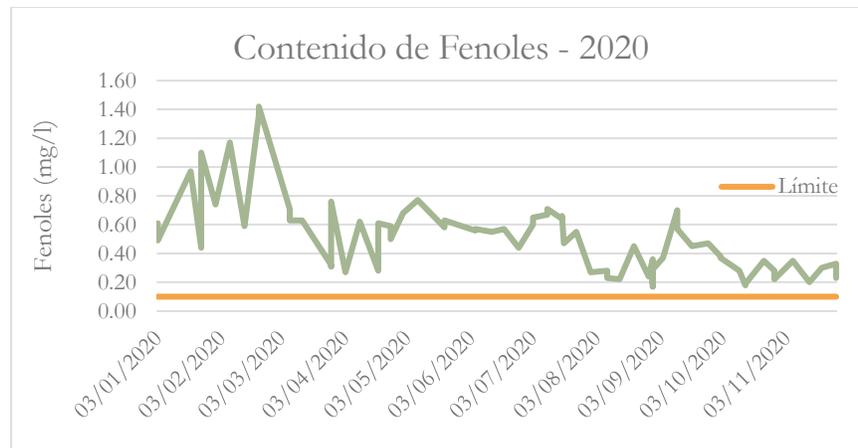


FIGURA 1 1: CONCENTRACIÓN DE FENOLES EN EL AÑO 2020 EN LOS LODOS CLOACALES DEL CAMPAMENTO A.

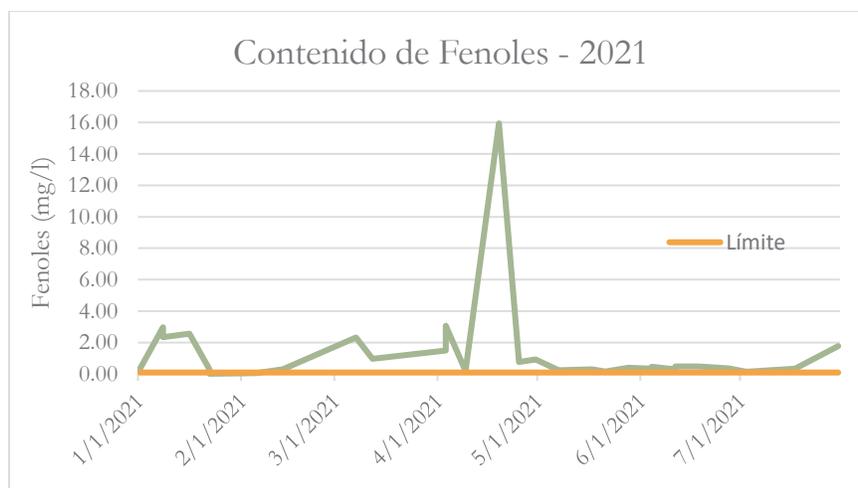


FIGURA 1 2: CONCENTRACIÓN DE FENOLES EN EL AÑO 2021 EN LOS CLOACALES DEL CAMPAMENTO A.

Según (Villegas, et al., 2016) los compuestos fenólicos se pueden encontrar en los efluentes de diversas industrias, como la refinación de petróleo, la petroquímica, la farmacéutica, las operaciones de coquización, la fabricación de resinas, los plásticos, las pinturas, la pulpa, el papel y los productos de madera. Sin embargo, la descarga de estos compuestos sin tratamiento puede generar riesgos graves para la salud de los seres humanos, los animales y los sistemas acuáticos. En línea con esto, es importante mencionar que el fenol ha sido designado como contaminante prioritario por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) y el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes (NPRI) de Canadá. Estos organismos reguladores internacionales han establecido límites estrictos de descarga de fenoles para un ambiente sostenible. Por ejemplo, la EPA ha establecido un estándar de pureza del agua superficial de menos de 1 ppb. Los niveles de toxicidad por lo general están en el rango de 9 a 25 mg/L tanto para humanos como para la vida acuática. Y como se mencionó anteriormente, la normativa nacional por su parte establece el límite en 0,1 mg/l.

Durante mi estadía en la mina, con ayuda del equipo de Ambiente, se realizaron análisis del efluente en distintos puntos del tren de tratamiento y en distintos horarios con el fin de comprender mejor la variación que tiene la concentración

de Fenoles y así diseñar una solución acorde a la problemática que se tiene. Para ello, se entrevistó a los trabajadores de la empresa subcontratada, encargada de la operación y funcionamiento de las plantas, con el objetivo de comprender mejor su operación y que líneas de efluentes son las que descargan en estas.

---

### 3.2.1 PLANIFICACIÓN DEL MUESTREO

A raíz de toda la información recolectada, se eligieron 5 puntos de muestreos para analizar la variación en la concentración de compuesto y caracterizar también el efluente de entrada a las plantas de A y STP#6. No se eligieron puntos de muestreo en la planta de STP#7 por su similitud con el efluente de la planta STP#6.

El primer punto de muestreo seleccionado fue la cámara de grasa presente a la salida del efluente de la cocina del campamento A (Pto 1), este efluente presenta altas concentraciones de grasa y aceites producto de la cocina de alimentos de origen animal y vegetal. Por otro lado, se eligió como segundo punto de monitoreo, la lavandería (Pto 2) dado que las prendas que se lavan allí se encuentran muchas veces embebidas en aceites y grasas producto de la actividad laboral de los mecánicos. Finalmente, se decidió tomar muestras en el equalizador a la entrada de la planta de tratamiento del campamento A (Pto 3), en el equalizador a la entrada de la planta STP#6 (Pto 4) y en el digestor aerobio de lodos donde se juntan los lodos de todas las plantas (Pto 5), con el fin de tener una caracterización completa de estos efluentes que permita luego el diseño de unidades de tratamiento complementarias a las plantas existentes.

Debido a procedimientos internos de la empresa, se decidieron tomar muestras del tipo simples. Este tipo de muestras revelan el comportamiento del efluente en el instante en el que fue realizado el muestreo. Además, fue necesario tener en consideración para el muestreo, el tiempo entre que se toma la muestra y se la ingresa al laboratorio ubicado a 400 km en la ciudad de San Juan. A raíz de esto, para elegir los días de muestreo se tuvo en cuenta que día y en que horario era posible bajar las muestras a San Juan y que la toma de muestras se encuentre dentro de las 24h recomendadas por el laboratorio.

Dicho esto, se muestreó en el Pto 1 por la mañana, cuando estaba ingresando el efluente de lavado de las bachas. Se eligió este horario por la complejidad del punto para tomar la muestra, la necesidad de que sea en horario diurno y de cumplir con las 24h de conservación de la muestra.

El punto Pto 2 se muestreó a las 18:30, horario en el que se encontraban haciendo los últimos lavados del día en la lavandería y se encontraba el pozo de bombeo lleno con el efluente recolectado durante todo el día.



FIGURA 13: IMAGEN DE LAS MUESTRAS M2 TOMADAS EN EL PUNTO 4.

En el caso de los puntos de muestreo 3, 4 y 5 se tomaron 2 muestras en cada punto, para tener una evaluación más representativa de la calidad del efluente de ingreso a las plantas y al digester. Los puntos 3 y 5 se muestrearon a las 20:00 h (M1), momento de mayor caudal por el movimiento en el campamento, y a las 9:00h del día siguiente (M2). Y el punto 4 se muestreó a las 18:30 junto con el 2 (M1) y por la mañana al día siguiente (M2) luego de muestrear el 3 y 5, estos horarios fueron elegidos para que se encuentren operativos los puntos que descargan en este.



FIGURA 14: IMAGENES DEL MUESTREO EN EL ECUALIZADOR DE LA PLANTA A.



FIGURA 15: IMAGEN DEL MUESTREO EN EL ECUALIZADOR DE LA PLANTA DE A.

### 3.2.2 MUESTREO Y RESULTADOS

A continuación, en la tabla I se muestran los resultados obtenidos de los muestreos realizados durante mi estadía en la mina.

TABLA I: RESULTADOS DE LOS MONITOREOS REALIZADOS EN LOS EFLUENTES DEL CAMPAMENTO EN LA MINA.

Lugar de muestreo	Fecha y hora de muestreo	Fenoles (mg/l)	Límite de detección	pH de laboratorio	Límite de detección
<b>Cámara cocina-Pto 1</b>	14/09/2021 09:15	1.02	0.01	3.9	0.1
<b>Lavandería- Pto 2</b>	13/09/2021 11:48	0.34	0.01	7.6	0.1
<b>Ecualizador A- Pto 3 M1</b>	14/09/2021 09:40	0.91	0.01	6.4	0.1
<b>Ecualizador A- Pto 3 M2</b>	13/09/2021 19:35	0.33	0.01	7.2	0.1
<b>Ecualizador STP#6- Pto 4 M1</b>	14/09/2021 10:50	0.2	0.01	6.9	0.1
<b>Ecualizador STP#6- Pto 4 M2</b>	13/09/2021 19:00	0.11	0.01	7.7	0.1
<b>Digestor A- Pto 5 M1</b>	14/09/2021 09:55	0.2	0.01	7.4	0.1
<b>Digestor A- Pto 5 M2</b>	13/09/2021 19:50	0.17	0.01	7.4	0.1

Como podemos observar en la tabla I, la mayor concentración de fenoles se obtuvo en el efluente saliendo de la cocina en el punto de muestreo 1, esto se ve reflejado luego en el punto de muestreo 3 donde el efluente de la cocina se mezcla con el cloacal proveniente del campamento. Así mismo, se puede observar que el punto de muestreo 2 en la salida de la lavandería, también presenta una concentración de fenoles significativa, aunque menor a la anterior. Por otro lado, se observa que, en el digestor de la planta del campamento A, si bien la concentración de fenoles se encuentra por encima de la normativa (0,1 mg/l) es menor a los otros dos puntos. Esto puede estar dado tanto por un efecto de dilución durante el tratamiento, como también como resultado del tratamiento biológico aplicado previamente. A raíz de estos

resultados, en el capítulo 5 se analizarán distintas alternativas de tratamiento que permitan complementar los trenes de tratamiento existentes y disminuir la concentración de fenoles en los lodos finales para así poder formular la primer alternativa de solución propuesta en este proyecto.

## CAPÍTULO 4: NORMATIVA

En el presente capítulo se detallará el marco normativo que aplica al proyecto a desarrollar, considerando esencial su identificación para que el proyecto se realice sin ningún tipo de riesgo legal o fiscal.

Se presentará por un lado el conjunto de leyes, decretos, reglamentos y disposiciones correspondientes a la legislación nacional y por el otro, las correspondientes a la provincia de San Juan. Para su confección, se tomaron en cuenta aspectos del entorno que son considerados relevantes en el diseño del proyecto, como el agua, aire, suelo, flora y fauna. Además, se incluye un análisis detallado de la reglamentación específica de la actividad minera y de la asociada a residuos peligrosos ya que resultan necesarias para el desarrollo de las distintas etapas que conforman este proyecto, como así también para el reconocimiento de los niveles guía, aspecto que definirá la selección de las tecnologías de tratamiento a emplear y los parámetros de calidad que se deben adquirir. Por otra parte, se considera relevante la inclusión de normativa vinculada a la Seguridad e Higiene, con la finalidad de optimizar el trabajo del personal involucrado a la realización del proyecto, y a su vez a reducir los riesgos en el ambiente laboral. Finalmente, la incorporación de la normativa vinculada al diseño y operación de un relleno sanitario de seguridad resulta fundamental para el reconocimiento de las habilitaciones y permisos requeridos.

### 4.1 NACIONAL

#### 4.1.1 GENERALES

→ *La Constitución Nacional*: el Art. 41 establece que “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.” El Art. 124, determina que corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio. Esto no sustrae a los recursos naturales, de la jurisdicción exclusiva del Congreso Nacional, teniendo este la potestad de regular jurídicamente las relaciones que nacen del uso y aprovechamiento de los recursos naturales. El Art. 43 establece que toda persona puede interponer acción de amparo contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por la Constitución Nacional. Agrega que esta acción podrá ser interpuesta en lo relativo a los derechos que protegen el ambiente, por el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines (organizaciones no- gubernamentales ONG).

→ *Ley General del Ambiente - N°25.675*: Establece la Política Ambiental Nacional y los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Contiene: Principios de la política ambiental, definición de Presupuesto Mínimo, competencia judicial, instrumentos de política y gestión, Ordenamiento ambiental, evaluación de impacto ambiental, educación e información, participación ciudadana, seguro ambiental y fondo de restauración, sistema Federal Ambiental, ratificación de acuerdos federales, autogestión, daño ambiental, entre otros.

→ *Código Civil y Comercial*: Los daños causados al medio natural y los perjuicios derivados de la contaminación sobre las personas y los bienes deben ser reparados. La contaminación realizada mediante la intervención de las cosas se encuentra comprendida en las presunciones de culpabilidad contempladas en el Art. 1757 del código Civil.

---

#### 4.1.2 RESIDUOS

→ *Ley de Presupuestos mínimos de Residuos industriales y actividades de servicios N°25.612*: Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.

→ *Ley N°24.051 Residuos Peligrosos*: La generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos quedan sujetos a las disposiciones de la presente ley, cuando se trata de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional o, aunque ubicados en territorio de una provincia estuvieren destinados al transporte fuera de ella, o cuando, a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieren afectar a las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado. Las disposiciones de esta ley serán también de aplicación a aquellos residuos peligrosos que pueden constituirse en insumos para otros procesos industriales. El artículo 36 determina las condiciones necesarias básicas para el diseño de un relleno sanitario de seguridad.

→ *Resolución 413/1993 – Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano*: Registro de operadores, transportistas y generadores residuos peligrosos.

→ *Resolución 177/2017*: Establece las condiciones y requisitos mínimos para el almacenamiento de residuos peligrosos.

→ *Decreto 831/93*: El cual establece los requisitos mínimos para el diseño y operación de los rellenos sanitarios de seguridad entre otras cosas.

→ *Resolución 410/18*: Establece una estrategia para la gestión y manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales.

---

#### 4.1.3 AGUA

→ *Ley N°25.688 de Presupuestos Mínimos de Aguas:* Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Regula la utilización de las aguas, cuencas hídricas superficiales y sobre comités de cuencas hídricas.

→ *Ley N°22.520 Competencias de los Ministerios Nacionales:* Establece que es facultad del gobierno nacional propiciar la conformación de Organismos de Cuenca. Los estados signatarios son condóminos, y cada uno otorga sus derechos de uso de agua.

---

#### 4.1.4 AIRE

→ *Ley N°20.284 de Preservación del Recurso Aire:* Declara sujetas a las disposiciones de la presente ley y de sus anexos I, II y III, todas las fuentes capaces de producir contaminación atmosférica ubicadas en jurisdicción federal y en la de las provincias que adhieran a la misma.

---

#### 4.1.5 FLORA Y FAUNA

→ *Ley N°22.421 de Conservación de la Fauna:* Establece ordenamiento legal en todo el territorio de la República. Declara autoridad a la secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Declara de interés público la fauna silvestre que habita el territorio de la República, su protección y conservación, propagación, repoblación, y aprovechamiento racional. La ley excluye a los animales comprendidos en las leyes de pesca. Sometiendo a la autoridad jurisdiccional de aplicación con la dependencia específica la calificación en casos dudosos. La Resolución 477/06 de la SAyDS establece el Plan Nacional del Manejo del Guanaco.

→ *Ley N°24.375 Convenio de Diversidad Biológica:* Aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado y abierto a la firma en Río de Janeiro en 1992. En la misma se detallan aspectos sobre la conservación In Situ y Ex Situ, la utilización de los componentes de la diversidad biológica, incentivos, investigación y capacitación, educación y conciencia pública, Evaluación de Impacto Ambiental, cooperación científica y técnica, entre otros.

---

#### 4.1.6 SUELOS

→ *Ley N°22.428 – Suelos:* Establece el régimen legal para el fomento de la acción privada y pública de la conservación de los suelos. Establece exenciones impositivas. Decreto reglamentario N° 681/81 B.O.

---

#### 4.1.7 MINERÍA

→ *Ley N°24.585 Protección ambiental para la Actividad Minera:* Informe de Impacto Ambiental para Proyectos Mineros de Explotación - Declaración de Impacto Ambiental.

→ *Código de Minería*: Reglamento Policía Minera N°40/48.

---

#### 4.1.8 SEGURIDAD E HIGIENE

→ *Ley N°19.587 – Higiene y seguridad laboral*: Establece que las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo se ajustaran en todo el territorio de la República Argentina a las normas de la presente ley y de las reglamentaciones que en consecuencia se dicten (posee modificatorias y complementarias). Decreto Reglamentario 351/79. Regula las condiciones de higiene en los ambientes laborales, las cuales contemplan entre otros, la contaminación ambiental, radiaciones, ruidos y vibraciones (posee modificatorias y complementarias).

→ *Ley N°24.557 – Riesgos del trabajo*: Establece el sistema integral de prevención de riesgos del trabajo y el régimen legal de las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo (ART). Establece: Objetivos y ámbito de aplicación. Prevención de los riesgos del trabajo. Contingencias y situaciones cubiertas. Prestaciones dinerarias y en especie. Determinación y revisión de las incapacidades.

### 4.2 PROVINCIAL

---

#### 4.2.1 GENERAL

→ *Constitución Provincial*: Conforme al artículo 58 de la Constitución Provincial, los habitantes de la provincia tienen derecho a una vida salubre y ecológicamente equilibrado. Para la protección de este derecho, otorga a toda persona la acción de amparo para la cesación de las causas que generan la perturbación del derecho. Como contrapartida, toda persona tiene la obligación de conservar el entorno. El texto del artículo 58 de la Constitución Provincial se complementa con otras normas que, si bien no se refieren autónomamente al ambiente, están destinadas a garantizar otros derechos que no le son ajenos: Art. 61 derecho a la salud; Art. 113 dominio de los recursos naturales; art. 114 función de la tierra; art. 116 promoción de la forestación; art. 117 régimen de aguas y arts. 118, 119 y 120 administración de los recursos hídricos.

→ *Ley Provincial N°2116*: Se incorpora como al Código de Edificación de San Juan (CESJ) para el proyecto y construcción de todas las obras públicas y privadas a ejecutarse en el territorio de la Provincia de San Juan, cualquiera sea su forma de contratación y ejecución, los reglamentos desarrollados por el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC) y en lo pertinente en conjunto con el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), que figuran como Anexo I. Se incorpora al Código de Edificación de San Juan (CESJ) para el proyecto y construcción de todas las obras públicas y privadas a ejecutarse en el territorio de la Provincia de San Juan, cualquiera sea su forma de contratación y ejecución, el Capítulo 17 de la Norma ASCE 7 2005, contenida en el Anexo II, en forma provisional hasta tanto sea aprobado el reglamento correspondiente por el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC).

- *Ley Prov. N°504*: Evaluación de Impacto Ambiental.
- *Ley Prov. N°513*: General del Ambiente. Principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente provincial.

---

#### 4.2.2 AGUA Y RESIDUOS

- Decreto 1.211/07: Establece los parámetros de calidad que deben poseer los efluentes, residuos sólidos y otros para no ser considerados como residuos peligrosos.
- *Resolución 1110-MM-18*: Se deberá presentar ante la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de San Juan, para su aprobación, informe con análisis fisicoquímicos y bacteriológicos junto con la caracterización de los lodos generados en las plantas de tratamiento de efluentes cloacales, con frecuencia mensual de acuerdo con el plan de monitoreo ya establecido.
- *Ley N°522-L*: La provincia de San Juan adhiere a la Ley Nacional N°24.051.

## CAPÍTULO 5: ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

A continuación, se plantearán distintas tecnologías de tratamiento que permitan disminuir considerablemente la concentración de fenoles en el efluente doméstico de la mina. A partir de un análisis teórico se seleccionará una alternativa que será la que luego se diseñará y al final de este trabajo será comparada con la disposición final controlada en relleno sanitario de seguridad.

El objetivo principal de realizar un tratamiento consiste en mejorar la gestión de los efluentes dentro del sitio de generación, buscando minimizar los costos económicos e impactos ambientales y sociales asociados al transporte de los lodos resultantes por largas distancias. Para ello es necesario el empleo de técnicas de tratamiento que garanticen la disminución de su peligrosidad, permitiendo así su reutilización o disposición final como RSU. A su vez, se buscará que sea factible la combinación de estos procesos con la planta existente en el lugar de estudio y que tengan un consumo racional de los recursos.

Como se mencionó, se realizará un análisis teórico de posibles alternativas de tratamiento, señalando sus principios de operación, principales ventajas y limitaciones. Lo cual permitirá la comprensión del tema de estudio y justificación de la tecnología seleccionada en función de los objetivos planteados anteriormente.

### 5.1 BIOLÓGICAS

Las tecnologías de tratamiento biológicas utilizan organismos vivos como plantas, hongos o bacterias para la degradación, transformación o remoción de compuestos orgánicos. Se basan en la asimilación como fuente de carbono de los contaminantes orgánicos presentes en el efluente convirtiéndolos en dióxido de carbono, agua y energía. Las vías de degradación van a depender de la estructura química de los compuestos y de los organismos involucrados. Según

(Villegas, y otros, 2016) son los tratamientos que se aplican con mayor frecuencia en efluentes que contienen fenoles por ser un método económico, simple de diseñar y mantener y logra transformar soluciones fenólicas en productos finales simples.

Como se mencionó previamente, se busca que estas tecnologías sean viables de emplazar en la planta de tratamiento actual. Por un lado, se analizará una tecnología aplicable al efluente (UASB) y por el otro una que sea aplicable al lodo resultante del tratamiento actual (ATAD). A continuación, se resumirá la teoría en la que se basan estas tecnologías y se analizarán brevemente las ventajas y desventajas de su implementación en el lugar de estudio.

---

### 5.1.1 UASB

La tecnología UASB se basa en un sistema anaeróbico de crecimiento en suspensión. Se busca mantener la tasa de carga hidráulica y orgánica adecuada, con el fin de facilitar la agregación de biomasa densa y que el flujo de agua residual sea hacia arriba a través de esta capa de lodo. Presenta un separador trifásico (GLS) que permite separar mezclas de gas, agua y lodos en condiciones de alta turbulencia. Para ello, cuenta con múltiples campanas que permiten la separación del biogás. Como resultado, la interfaz de gas/agua reduce en gran medida la turbulencia, lo que hace posibles tasas de carga altas entre 15 y 30 kg DQO/m<sup>3</sup>d (Tiwari, Drogui, & Tyagi, 2020) (IWA, 2016)

El tamaño de los gránulos suele ser de aproximadamente 1-3 mm de diámetro, tienen un gran peso y se desarrollan y mantienen dentro del reactor. Están compuestos por bacterias hidrolíticas, acidógenas/acetógenas y metanógenas, que forman estructuras en capas. La capa superficial se compone de bacterias hidrolíticas/fermentativas, la capa intermedia de colonias syntrophic y la interior de metanógenas acetogénicas. De esta forma, la concentración de biomasa en el reactor puede llegar a ser tan alta como 50 g/l. Es así como, un muy alto tiempo de retención celular se puede lograr incluso a muy bajo tiempo de retención hidráulica (Tiwari, Drogui, & Tyagi, 2020).

El tratamiento comienza con el bombeo del afluente desde el fondo del reactor. Se mueve hacia arriba y pasa a través de un lecho de lodo expandido que contiene, primero una alta concentración de biomasa, y luego una biomasa menos densa denominada manto de lodo. La turbulencia natural causada por el flujo de afluente y el gas producido ayuda a mantener el contacto adecuado entre biomasa y aguas residuales. Es importante que la altura del lecho de lodo sea suficiente (1,5 a 2,5 m) para minimizar la canalización y asegurar que la velocidad del flujo ascendente del líquido esté dentro de los límites máximos permisibles (1,2 – 1,5 m/h). Finalmente, el afluente pasa por el separador GLS, en donde se separan las partículas sólidas de la mezcla (gas, líquido y sólido) permitiendo que el líquido y el gas salgan del reactor UASB. Las aguas residuales tratadas son recolectadas por lavadoras distribuidas en toda el área de descarga. El biogás generado es almacenado como combustible o quemado en antorcha. Considerando esto, la altura del reactor debe ser de aproximadamente 4,5 - 6,5 metros (IWA, 2016).

El objetivo principal del diseño es facilitar el retorno de los lodos, sin la ayuda de ningún dispositivo externo de control. La función del separador es proporcionar suficientes interfaces gas-agua dentro del domo de gas y suficiente área de

asentamiento fuera del domo, para así poder controlar la tasa de desbordamiento de la superficie. A su vez, tiene una abertura en la parte inferior con tamaño suficiente para evitar turbulencias provocadas por la alta velocidad de entrada del líquido en el sedimentador, permitiendo así un retorno adecuado del sólido al reactor.

(Veeresh, Kumar, & Mehrotra, 2005) hizo una revisión de distintos proyectos que utilizaron reactores UASB para el tratamiento de fenoles en aguas residuales. En esta llega a la conclusión de que es posible la degradación de fenoles con y sin la utilización de un cosustrato, siempre y cuando se cuente con una estrategia operativa adecuada. Para ello, es esencial el mantenimiento de la concentración del sustrato dentro del rango inhibitorio en el reactor. Para lograrlo existen dos opciones a saber, recirculación y uso de cosustratos. El desempeño de un sistema UASB es eficiente (>97% eliminación) a una concentración de fenol de 1.260 y 3.000 mg/L cuando se tiene una recirculación de efluentes 1: 1 y 3: 1, respectivamente. Por otro lado, una concentración de Fenol de 1.260 mg/L con 1.000 mg/L de glucosa como cosustrato se puede tratar eficazmente con una eliminación de fenol al 98% y de DQO del 92%.

Además, en esta revisión se comparan las condiciones de crecimiento en los distintos trabajos y en toda la temperatura del reactor es mayor a 30°C. Esto podría ser la principal desventaja a la hora de pensar este tipo de tratamiento para el lugar de estudio.

---

### 5.1.2 ATAD

La digestión aeróbica termofílica autotérmica (ATAD) es un proceso en el que el lodo líquido es agitado con aire u oxígeno para mantener las condiciones aerobias, suelen presentar un tiempo de retención hidráulica (THR) de 6 a 10 días y temperaturas termófilas que se encuentran entre los 40 y 60°C (USEPA, *Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Wastewater Sludge*, 1990).

Durante este proceso, la concentración de oxígeno, el contenido de sólidos volátiles y la mezcla en el reactor promueven la degradación de los sólidos orgánicos en compuestos simples liberando calor. A medida que se agota el suministro de alimentos, la respiración endógena prevalece por sobre la actividad biosintética de los microorganismos. Para obtener la energía necesaria para su metabolismo, consumen su propio protoplasma y los materiales liberados durante la lisis celular. En última instancia, este proceso produce un lodo residual con un nivel de energía tan bajo que puede considerarse biológicamente estable y adecuado para su disposición final en el ambiente. Generalmente puede lograr una destrucción de sólidos volátiles superior al 38%. Además, es capaz de lograr un alto grado de estabilización y reducción de patógenos (USEPA, *Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Wastewater Sludge*, 1990); (Pagilla, Craney, & Kido, 1996); (Kelly, 2003). Sin embargo, hay procesos que promueven un TRH de hasta 15 días, esto permite una oxidación más completa del material volátil (hasta un 60%) y reduce el olor.

Utiliza la energía liberada por los microorganismos durante la biodegradación exotérmica y es particularmente adecuado para el tratamiento de lodos orgánicos de alta resistencia (Rozich & Bordacs, 2002). Al operar a temperaturas termofílicas se seleccionan microorganismos termo tolerantes y termófilos. Son necesarias una aireación y mezcla adecuadas con el

fin de asegurar la máxima interacción entre el sustrato y los microorganismos. A su vez, es necesario reducir el tamaño de las partículas, para así aumentar el área de superficie para la digestión (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Su mayor ventaja es su resistencia a cargas de impacto. Además, puede hacer frente a concentraciones variables de sólidos volátiles. Los sistemas generalmente están diseñados para operar en modo batch o semi-batch, para evitar cortocircuitos que podrían conducir a una fuga de patógenos. El lodo de alimentación adecuadamente espesado, la aireación y mezcla efectiva, además de un aislamiento adecuado, contribuyen a un diseño de sistema con baja pérdida neta de calor. Generalmente, el sustrato es lodo residual activado o una mezcla de lodo primario y secundario. Sin embargo, los lodos secundarios tienden a biodegradarse más fácilmente que los lodos primarios. La velocidad de alimentación es una consideración de diseño crítica cuando se opera ATAD, ya que pueden ocurrir choques térmicos y/o cargas de choque orgánico. Esto conduce a una mayor demanda de oxígeno y ejerce presión metabólica sobre la población termófila, si se aplican tasas de aireación bajas (Stentiford, 2001).

Generalmente, se opera con un tren mínimo de dos etapas, a menos que se alimente por lotes. Este tipo de configuración maximiza la reducción de patógenos y minimiza las fallas en el proceso. La mayor parte de la destrucción de sólidos volátiles ocurre en el primer reactor (45°C) y la máxima reducción de patógenos tiene lugar en el segundo reactor (>55°C). Los productos de cada reactor varían con el tipo de efluentes, la temperatura de funcionamiento y el grado de oxidación obtenido (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

Como puntos a favor, este proceso actúa más rápido que la degradación mesófila o anaeróbica y es muy resistente a compuestos orgánicos como los fenoles o contaminantes metálicos como el cobre, zinc y níquel. (Randerson, Higgins, & Dancer, 2003) menciona ejemplos de efluentes tratados con éxito por sistemas ATAD a escala piloto de hasta 1000 litros de tamaño. En estos se incluyen efluentes del procesamiento de alimentos (helado, chocolate, pasteurización de huevos, elaboración de cerveza), plantas químicas (procesamiento de madera, licor fenólico) y efluentes de pozos de ensilaje. En las pruebas realizadas con los efluentes resultantes de la fabricación de plástico, observó una disminución rápida (4 días) del metanol y fenol, logrando su eliminación luego de los 11 días. Sin embargo, obtuvo una reducción más lenta de la DQO (95 %) tardando estos 11 días. La presencia de fenoles en el efluente redujo el número de bacterias (recuentos viables totales, DQO 1.600 mg/l TVC) pero los organismos restantes lograron su degradación utilizando la enzima fenol-mono-oxigenasa y el TVC volvió a aumentar. Al igual que para la tecnología anterior, las temperaturas necesarias para este tratamiento pueden ser la desventaja principal a la hora de elegir este proceso.

## 5.2 OXIDACIÓN AVANZADA

Hoy en día, debido a la creciente presencia en los efluentes de moléculas recalcitrantes, los métodos biológicos convencionales no son suficientes para su tratamiento. Es así como se ha vuelto imperativo la introducción de nuevas tecnologías para degradar estas moléculas a versiones más simples.

El objetivo final de la oxidación de los contaminantes orgánicos es la mineralización, es decir, su conversión en moléculas inorgánicas simples, que sean relativamente inocuas. Se puede generalizar como la combinación de material

carbonoso con oxígeno para producir un compuesto más fuertemente oxigenado que, en última instancia, deberá formar dióxido de carbono y agua. Cada oxidación va acompañada de su reducción correspondiente para que se conserve el equilibrio de carga. La fuerza motriz es la estabilidad de los productos finales.

Los procesos de oxidación avanzada (POA) son una serie de técnicas que tienen la característica común de que forman radicales hidroxilos ( $\text{OH}\cdot$ ) in situ y este radical libre es capaz de mineralizar la mayoría de los compuestos orgánicos, incluidos los fenólicos. Los POA que se tratan a continuación, UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , Fenton y ozono, se aplican de diversas formas en un amplio rango de concentración de los compuestos fenólicos objetivo.

A continuación, se hará un breve resumen de la teoría en la que se basan distintas tecnologías de oxidación avanzada, su forma de aplicación en el tratamiento de efluentes y las ventajas y desventajas de su implementación.

---

### 5.2.1 UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$

La combinación  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV tiene la capacidad de acelerar la generación de radicales hidroxilos que son capaces de transformar diversos compuestos orgánicos tóxicos/recalcitrantes en productos más biodegradables y menos peligrosos. Proporcionando de esta forma, mejoras para la tratabilidad de los efluentes industriales. El mecanismo ocurre por acción de la radiación emitida por lámparas UV, con longitudes de onda menores a los 400 nm, que son capaces de fotolizar las moléculas de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . El fotoclivaje (rompimiento) del peróxido de hidrogeno lleva a la oxidación parcial de los compuestos recalcitrantes a elementos más biodegradables, mejorando así la eficiencia en un posterior tratamiento biológico (Cleto, Rodriguez, & Botelho, 2008).

Este método es uno de los POA más antiguos y ha sido utilizado con éxito en la reducción de contaminantes presentes en efluentes industriales incluyendo organoclorados alifáticos, aromáticos, fenoles tanto clorados como sustituidos y plaguicidas. Este sistema se utiliza, por ejemplo, en el tratamiento de efluentes procedentes de la industria papelera y de los lixiviados de vertederos (Bes Monge, Silva, & Christophe, 2018).

Según la (U.S.EPA, 1998), su implementación se basa en la aplicación del  $\text{H}_2\text{O}_2$  en un reactor que permita la mezcla del efluente con el mismo. Luego, el efluente debe pasar por unidades de oxidación donde es sometido a la radiación UV con lámparas. Generalmente, se utilizan para la disociación del peróxido de hidrogeno lámparas UV con emisión máxima de 254 nm, debido a que la absorción del  $\text{H}_2\text{O}_2$  alcanza su máximo a los 220 nm. Se debe considerar que las diferentes condiciones del medio tales como: pH, dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , características del efluente, tiempo de exposición a la radiación UV, entre otras, pueden interferir durante su aplicación (Cleto, Rodriguez, & Botelho, 2008).

Algunas ventajas de la irradiación con UV son (1) la reducción del tiempo de reacción, (2) el aumento de la selectividad de la reacción, (3) la disminución de la energía de activación, (4) la mejora en la velocidad de reacción, (5) la reducción del tamaño y desperdicio del equipo, (6) se facilita el control y (7) aumenta el rendimiento y la pureza de los productos (Remya & Lin, 2011). Por otro lado, el peróxido de hidrogeno es un oxidante comercialmente muy accesible y puede

almacenarse en planta, al poseer solubilidad infinita en el agua no hay problemas de transferencia de masa, como ocurre en otros procesos como los tratamientos con ozono o aire (Bes Monge, Silva, & Christophe, 2018).

Las propiedades ópticas del efluente están muy asociadas con los constituyentes específicos que contiene. Los químicos disueltos pueden afectar significativamente la transmitancia del efluente, reduciendo la producción de radicales OH. Ciertos compuestos como la materia orgánica, los ácidos orgánicos y algunos iones inorgánicos pueden reducir la eficiencia de eliminación de contaminantes específicos (Mierzwa, Rodrigues, & Teixeira, 2018).

La medición de la transmitancia de la radiación UV a una longitud de onda específica, 254 y 172 nm, es la forma más fácil de evaluar la capacidad de absorción de los efluentes. La materia orgánica y varios compuestos aromáticos absorben fuertemente la radiación ultravioleta, lo que hace que la medición de la absorción de radiación UV sea un indicador sustituto de dichas sustancias. El tratamiento de efluentes con mayor absorbancia de radiación UV, significa una menor transmitancia en estas longitudes de onda de luz UV, lo que significa que será más difícil y costoso.

Teniendo en cuenta estos factores, el diseño de un reactor de oxidación fotoquímica para el tratamiento de efluentes no es sencillo. De hecho, el diseño final del reactor depende no solo del contaminante específico a tratar, sino también de las características de la matriz que lo contiene. Las características con respecto a la lámpara UV y la manga de cuarzo que se utilizarán y la geometría del reactor son bastante relevantes para cualquier aplicación exitosa.

Además, deben tenerse en cuenta concentraciones adecuadas de  $H_2O_2$  y una trayectoria de irradiación suficiente en el medio de reacción para compensar su pobre absorción en la región UV. Esto es considerablemente más crítico, cuando el efluente a tratar absorbe radiación UV en la misma longitud de onda de irradiación, compitiendo intensamente por los fotones con el peróxido de hidrógeno.

(Akin, Arslan-Alaton, Olmez-Hanci, & Bekbolet, 2013) estudió la degradación y desintoxicación de derivados de fenol de importancia industrial en agua mediante fotólisis UV-C directa y mediante un proceso UV-C/ $H_2O_2$ . El proceso UV-C/ $H_2O_2$  fue mejor que la fotólisis UV-C directa en términos de eliminación de los compuestos originales y el TOC. Tal es así que, el tratamiento con UV-C/ $H_2O_2$  durante 90 minutos condujo a la degradación completa del compuesto original y logró una eliminación del TOC del 95 %.

Por otro lado, (Zhang & Li, 2014) estudiaron la eliminación de compuestos disruptores endocrinos fenólicos utilizando UV,  $H_2O_2$  y UV/ $H_2O_2$ . Observaron que el proceso combinado de UV/ $H_2O_2$  fue más eficiente en la degradación de micro contaminantes orgánicos, que la radiación UV o la oxidación de  $H_2O_2$  solos. Esto fue resultado de la fotólisis ocurrida sobre los radicales hidroxilos generadores de  $H_2O_2$ .

---

### 5.2.2 FENTÓN

El proceso Fenton es uno método clásico para producción de radicales hidroxilos, que consiste en la adición de sales de hierro como catalizadoras, en presencia de  $H_2O_2$ . Los radicales se forman a partir de la interacción entre el  $H_2O_2$  y

el hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en medio ácido (pH 2,5-3). Esto se debe particularmente a la tendencia a que ocurra la precipitación del oxihidróxido férrico, que tiene una actividad catalítica baja a pH 3-4, dependiendo de la concentración de hierro. Como el hierro es un catalizador, no se consume durante el proceso. Por lo contrario, el  $\text{Fe}^{2+}$  se regenera a partir del hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Normalmente el hierro se añade en forma de sal ferrosa, como por ejemplo el sulfato de hierro (II) (Bes Monge, Silva, & Christophe, 2018).

Generalmente, existe un reactor principal en donde ocurre el proceso Fenton en modo discontinuo y suele ser un tanque no presurizado, en condiciones atmosféricas. Este dispone de una serie de bombas externas para poder adicionar el agente para ajustar el pH (ya sea ácido o base) y dosificar el sulfato de hierro (II) y peróxido de hidrógeno (35-50%). Después de llenar el tanque con el efluente, se lleva a cabo la adición de los reactivos. Primero se debe añadir el ácido o base para ajustar el pH hasta 2,5-3 (2,8 idealmente). Luego, se añaden los reactivos lentamente para que no ocurran cambios bruscos en el pH o la temperatura, primero el sulfato de hierro (II) y después el  $\text{H}_2\text{O}_2$ . A continuación, se pasa el efluente resultante a un tanque de neutralización en donde se adiciona una base que hace precipitar el hidróxido de hierro en forma de lodo. Finalmente, se coagula este lodo en un tanque de floculación y se deja decantar en un sedimentador (Babuponnusami & Muthukumar, 2014).

Los reactivos utilizados en el proceso Fenton son relativamente económicos. El hierro es muy abundante y puede ocurrir naturalmente en el sistema que se está tratando. Además, no es tóxico, mientras que muchos otros catalizadores metálicos potencialmente adecuados son tóxicos en diversos grados. El  $\text{H}_2\text{O}_2$  es relativamente fácil de transportar y manejar, además de ser ambientalmente benigno en forma diluida. Los productos finales suelen ser significativamente menos tóxicos que los contaminantes orgánicos originales.

Este proceso, en sus diversas formas, se utiliza cada vez más en el tratamiento de aguas y suelos contaminados. Ha resultado efectivo para el tratamiento de efluentes conteniendo distintos compuestos orgánicos de difícil degradación como los son fenoles, organoclorados y colorantes (Villegas, y otros, 2016).

(Amor, y otros, 2015) investigó la combinación de un proceso Fenton y un proceso biológico anaeróbico para tratar los efluentes residuales de las almazaras. El efluente era demasiado tóxico para el tratamiento biológico directo debido a las altas concentraciones de compuestos fenólicos (2 a 80.000 mg/L). Con un método de pretratamiento Fenton eliminaron el 82,5 % de los fenoles a pH 3,5 después de 8 h de reacción, produciendo un efluente apto para el tratamiento anaeróbico.

(Madani, y otros, 2015) estudió el impacto de las variaciones en el pH, la temperatura y la concentración de peróxido de hidrógeno para el tratamiento de estos efluentes mediante un proceso Fenton. El pH adecuado fue de 3–4; si el pH era más bajo (<3), algo de hierro (II) estaba presente como  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ , retardando así la formación de radicales hidroxilos; cuando el pH era más alto (>4), la regeneración de hierro (II) se ralentizaba por la precipitación de oxi hidróxidos férricos y la formación de complejos hierro-buffer (II) que ralentizaban la formación de radicales hidroxilos. La

temperatura solo tuvo un efecto leve, mientras que la concentración de peróxido de hidrógeno fue un factor crítico, dependiendo de la concentración de sal de hierro.

Ambos estudios utilizaron un proceso Fenton para tratar este tipo de efluentes, y encontraron que cuando la relación molar  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  estaba en torno a 15, el proceso alcanzaba una eliminación óptima tanto en DQO, como en concentración total de fenoles.

Por otro lado, una refinería en Canadá necesitaba desechar 10.000 bbl de aguas residuales cáusticas de alta concentración y alto pH que se habían almacenado en uno de sus tanques. Estas aguas residuales tenían niveles muy altos de fenoles (14.000 mg/L) y no permitían su procesamiento a través del sistema de lodos activos debido a problemas de toxicidad biológica. USP Technologies (USP) resolvió con éxito este problema utilizando un tratamiento previo con Fenton. Con este logró que los niveles de fenoles se encontraran por debajo del objetivo de la refinería, establecido en 100 mg/L. Luego de elevar el pH por encima de 7, logró descargar el efluente resultante del Fenton al tanque que alimentaba el proceso de lodos activos sin desestabilizar el proceso (Technologies, 2009).

---

### 5.2.3 OZONO

El ozono es un gas altamente reactivo con una solubilidad limitada en agua. Por lo tanto, sus reacciones son muy complicadas en el sistema acuoso, lo que implica transferencia de masa gas-líquido, auto descomposición, reacciones con constituyentes inorgánicos y orgánicos disueltos y suspendidos. Una vez disuelto en agua, el ozono actúa como oxidante debido a su alto potencial redox estándar ( $E_0$ ) de 2,07 V (Amor, y otros, 2015).

En los tratamientos de efluentes con ozono, su molécula puede reaccionar directamente con los contaminantes (vía directa) o bien puede transformarse en otros oxidantes como hidroxilos, radicales hidroperoxilo y otras especies, que luego reaccionen con los compuestos objetivo (vía indirecta). Estas dos vías de reacción conducen a diferentes productos de oxidación y son controladas por diferentes cinéticas. La reacción directa es un mecanismo bastante selectivo que reacciona preferiblemente con materia orgánica con dobles enlaces, aromáticos o aminas. Por otro lado, la reacción indirecta es un proceso de radicales libres menos selectivo, pero que ocurre a mayor velocidad lo cual puede ser beneficioso en el tratamiento de aguas residuales. Qué tipo de reacción ocurre depende en la mayoría de los casos del pH de la solución. Para condiciones ácidas la oxidación directa se presenta con ozono molecular. Mientras que, para condiciones básicas o combinación con UV y/o peróxido de hidrógeno, predomina la reacción indirecta (Ikehata & Li, 2018); (Bes Monge, Silva, & Christophe, 2018).

Los parámetros fundamentales para tener en cuenta en este proceso son el aumento del pH, que ha demostrado disminuir la estabilidad del ozono. La dosificación requerida, ya que en la mayoría de los casos se requieren unos pocos mg  $\text{O}_3$  por litro de agua residual. El tiempo de residencia, dado que el tiempo de contacto óptimo depende básicamente del objetivo de la ozonización, en general la oxidación de los fenoles ocurre en corto tiempo. Y, por último, del gas de alimentación, ya que podría utilizarse oxígeno puro o aire atmosférico. Sin embargo, más del 99% de los sistemas que

utilizan ozono para el tratamiento de sus efluentes, utilizan aire como gas de alimentación (Cleto, Rodríguez, & Botelho, 2008).

El ozono en su empleo industrial ya sea partiendo de aire o de oxígeno puro, se obtiene por descarga eléctrica alterna de alta tensión. Para evitar la formación de un arco eléctrico, los dos electrodos están separados por un medio dieléctrico, generalmente compuesto por vidrio. La descarga de corona entre los dos electrodos causa que un electrón fluya a través del hueco de descarga. Esos electrones suministran la energía para disociar las moléculas de oxígeno, produciéndose así la formación de ozono. Entre el 80 y 95% de la energía que generan estos dispositivos se convierte en calor, lo que podría provocar la descomposición del ozono producido. Entonces, el sistema de refrigeración de los ozonizadores es muy importante para mantener una temperatura constante del gas dentro de la cámara de descarga. La eficiencia en la producción de ozono en estos equipos depende de la longitud y anchura del sistema de descarga y la configuración y espesor del dieléctrico. Así como también de la concentración y producción del ozono y el rendimiento o necesidades de energía específica. Y a su vez, del tipo de tensión, frecuencia y densidad de potencia, la presión y temperatura de trabajo, la velocidad de corriente del gas y la composición y humedad del gas empleado.

Otro punto para tener en consideración es que el ozono debe entrar en contacto con el agua a tratar y dispersarse de la manera más fina posible. Normalmente, esto se realiza a través de difusores de burbujas finas en cámaras de contacto. Los difusores de cámara con deflectores son los más comunes. Una cámara típica generalmente tiene varios compartimentos en serie con difusores de burbuja en el fondo. En el primer compartimiento, el agua fluye hacia abajo en sentido contrario al de las burbujas que ascienden. En el segundo compartimiento el agua fluye hacia arriba. Estas cámaras deben ser cubiertas para prevenir que se escape el ozono y para aumentar la presión parcial del ozono en la cámara. Las cámaras adicionales garantizan el tiempo de contacto entre el ozono y el efluente. Cada una debe contar con puntos de muestreo para que se pueda determinar la concentración de ozono. Esto es necesario para calcular la concentración del producto y el tiempo de retención a fin de conseguir el valor de concentración por tiempo requerido (Bes Monge, Silva, & Christophe, 2018).

El gas liberado por las cámaras de contacto de ozono generalmente excede el límite establecido por normativa por lo que el ozono restante se debe reciclar o destruir. Para su destrucción, el gas liberado pasa primero por un dispositivo que captura gotas de agua en una malla de acero inoxidable. Luego, el gas se calienta y pasa por una unidad en donde es destruido con un catalizador que acelera el proceso. Estos equipos tienen un requerimiento de energía que oscila entre 1 y 3 kW por cada 3 m<sup>3</sup>/min del flujo de gas (Santiago & Calderón Ancona, 2005).

La ozonización tiene una gran variedad de aplicaciones, que incluye: desinfección, oxidación de micro contaminantes orgánicos recalcitrantes (fármacos, pesticidas, contaminantes fenólicos, entre otros), oxidación de contaminantes inorgánicos, eliminación de color y sabor, potabilización de aguas y depuración de aguas residuales. La acción del ozono es conveniente para el tratamiento de especies químicas que contienen sitios nucleofílicos caracterizados por la presencia

del O, N, S o fósforo. Debido a la acción del ozono, sustancias como aminas, pesticidas y especies aromáticas pueden ser transformadas y llevadas a un estado en el cual sean fácilmente biodegradables (Bablon, y otros, 2005).

En muchos casos y dependiendo del tipo de efluente, la eliminación de la materia orgánica implica el uso de altas dosis de ozono, incrementando así el coste de tratamiento. La dosis de ozono a utilizar disminuye considerablemente cuando el objetivo es aumentar la biodegradabilidad del efluente, en lugar de buscar la mineralización de la materia orgánica presente (Bes Monge, Silva, & Christophe, 2018).

(Muñoz & Paredes, 2014) estudiaron la degradación de fenoles bajo concentraciones de 0,15 mg/l en efluentes provenientes de una refinería ecuatoriana. Utilizaron dos tipos de sistemas de oxidación avanzada, Ozono ( $O_3$ ) y Ozono/Peróxido de Hidrógeno ( $O_3/H_2O_2$ ). Realizaron pruebas de ozonificación a diferentes valores de pH y el mejor resultado lo obtuvieron para muestras con pH 8.5. Para este caso específico, la concentración de fenoles se redujo de 4 ppm a 0.03 ppm con una dosis de 2.5 g/h de  $O_3$  durante un minuto de tratamiento. La demanda de ozono fue de 34.2 mg/L, equivalentes, en este proceso a 8.7 mg de  $O_3$  por cada mg de fenol removido. Estudiaron un proceso similar con diferentes relaciones de  $[H_2O_2]/[O_3]$  (i.e. 0.11, 0.22 y 0.49). El objetivo fue determinar si existían diferencias con el uso de ozono solamente y si se podía mejorar la eficiencia de dicho proceso. Los experimentos llevados a cabo con la combinación  $O_3/H_2O_2$  no exhibieron diferencias en relación con los resultados obtenidos solo con  $O_3$ . En los dos casos, la toxicidad de las muestras del efluente se redujo.

(Felis & Miksch, 2015), determinaron la eficacia del  $O_3$  para la oxidación avanzada de nonilfenoles (NP). El proceso se realizó como una reacción acuosa homogénea en un sistema de flujo. La eficiencia de descomposición dependió de la concentración inicial de ozono. Durante la ozonólisis homogénea, la concentración inicial de NP fue de 10 mg/L y las dosis de ozono fueron de 0.8, 1.0 y 2.0 mg/L, logrando remociones de NP de 45, 52 y 60 %, respectivamente, con 3 min de reacción.

Según (Mohseni, 2005) la principal ventaja de utilizar este tipo de tratamientos es que la materia prima utilizada (aire u oxígeno) es muy asequible y sólo requiere de un tratamiento previo que no es muy complejo (filtración, secado). A su vez, menciona que el ozono reacciona rápidamente con los contaminantes orgánicos e inorgánicos debido a su elevado potencial redox y reactividad. Sumado a esto, disminuye la DQO, el color y turbidez del efluente, además de desinfectarlo. Los posibles excesos de ozono disueltos en el agua se descomponen rápidamente pasando a oxígeno, sin dejar agentes extraños en el medio.

Entre las desventajas el autor menciona que el rendimiento energético de la generación de ozono es muy bajo y su concentración en el gas ozonizado suele ser relativamente baja (2-5% en aire, 3-4 veces más con oxígeno). Además, debe ser generado «in situ». Y por lo general, la etapa controlante es la transferencia de materia del ozono a la fase acuosa. A su vez, el ozono es irritante y tóxico en altas concentraciones, por lo que el ozono residual gaseoso debe ser eliminado. Principalmente, la mayor desventaja de este tratamiento es el elevado costo que posee.

### 5.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo en consideración la descripción de las alternativas realizadas a lo largo de este capítulo, se analizarán a continuación sus beneficios y aplicabilidad en el sitio de estudio, con la finalidad de elegir una para realizar su diseño y análisis económico.

Para ello, en la tabla a continuación se comparan de manera relativa algunos aspectos relacionados a la operación de estas tecnologías, como lo son los costos, el tiempo, el área requerida y el uso de químicos. Además de otros aspectos necesarios para tener en cuenta para las condiciones que se tienen en el lugar de estudio, como lo es la temperatura y la facilidad de acoplamiento de la unidad propuesta a la planta de tratamiento existente.

TABLA II: COMPARACIÓN RELATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PROPUESTAS.

Tipo de tratamiento	Alternativa	Tiempo	Costo de instalación	Costo de operación	Área requerida	Uso de químicos	Temperatura	Facilidad de acoplamiento
Biológicas	UASB	Medio	Alto	Bajo	Bajo	-	>30°C	Alta
	ATAD	Muy alto	Bajo	Bajo	Alto	-	40-60°C	Buena
Oxidación Avanzada	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Bajo	Medio	Alto	Medio	Medio	<30°C	Buena
	Fenton	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto	Ambiente	Buena
	Ozono	Bajo	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	<30°C	Buena

Como primera medida se descartan las tecnologías de tratamiento biológicas. Si bien son tecnologías con bajo costo y fácil mantenimiento durante su operación, las temperaturas requeridas son elevadas. En el caso de UASB, la temperatura que requiere el proceso junto con la altura típica requerida para el reactor, vuelve muy costoso el proceso y se convierte en un impedimento. Además, dificulta su emplazamiento y operación en el sitio de estudio, siendo su acoplamiento a la planta existente de alta complejidad. En el caso de ATAD, las temperaturas que se requieren son elevadas y el costo de brindarlas de manera artificial sería demasiado elevado. Sumado a esto, es importante mencionar que el sitio de estudio se encuentra ubicado a 4300 m.s.n.m y la baja disponibilidad de oxígeno en el aire es un factor negativo a tener en cuenta a la hora de implementar alternativas del tipo biológicas. Es así como se considera a las alternativas de oxidación avanzada como las mejores para su análisis.

Para poder definir cuál de las alternativas de oxidación propuestas es la más adecuada para el proyecto en cuestión se decidió realizar un análisis FODA de cada una. Con esto se busca tener un mejor entendimiento de los beneficios y debilidades de cada una.

En el caso del tratamiento utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, como se observa en la tabla a continuación, entre sus fortalezas podemos destacar la inocuidad de las sustancias con las que se trabaja y el bajo riesgo que posee esta tecnología de generar metabolitos intermedios tóxicos. Sin embargo, implica un alto consumo de energía, un alto costo de operación e implementación, altos requisitos de mantenimiento y la necesidad de contar con mano de obra especializada para su operación. Sumado a esto, la matriz del efluente puede absorber radiación UV, haciendo menos eficiente la degradación de los fenoles. Si bien durante el diseño de la mayoría de los tratamientos es conveniente realizar ensayos previos en el laboratorio, en este caso es de suma importancia para entender la interferencia que podría generar la matriz. Esto es a

pesar de que la bibliografía demuestre que esta tecnología permite degradar fenoles. Es por ello, que se cree que esta tecnología no es la más adecuada para el sitio de estudio y se descarta su diseño.

TABLA III: ANÁLISIS FODA DEL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES CON H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo tiempo de reacción.</li> <li>• El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es muy accesible y puede almacenarse fácilmente.</li> <li>• No utiliza componentes tóxicos.</li> <li>• No genera metabolitos intermedios tóxicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología innovadora en el mercado.</li> <li>• Puede utilizarse también como método de desinfección.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto consumo de energía.</li> <li>• Costos de operación e implementación elevados.</li> <li>• Alto requisito de mantenimiento.</li> <li>• Dificultad operativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de que la matriz del efluente absorba radiación UV.</li> </ul>

En el caso del tratamiento con Ozono, como se detalla en la tabla a continuación, es una tecnología con materia prima barata e inocua ya que se utiliza aire u oxígeno para la generación del ozono. A su vez, el tiempo de tratamiento es muy bajo, se remueve el color del efluente y aumenta su biodegradabilidad. Sin embargo, tiene un costo muy elevado de implementación, al igual que para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV es necesaria mano de obra especializada para su operación y requiere del monitoreo constante del pH y de la concentración de ozono. Sumado a esto, existe evidencia sobre la generación de compuestos intermedios de la degradación que pueden ser incluso más tóxicos que los fenoles. Es por esto y por el elevado costo de operación y mantenimiento que tienen los equipos necesarios para este proceso, que se descarta esta tecnología.

TABLA IV: ANÁLISIS FODA DEL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES CON OZONO

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La materia prima es aire u oxígeno.</li> <li>• Reacciona rápidamente con los contaminantes.</li> <li>• Aumenta la biodegradabilidad del efluente.</li> <li>• Remueve el color del efluente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología innovadora en el mercado.</li> <li>• Puede utilizarse como método de desinfección también.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad operativa.</li> <li>• Elevado costo de implementación.</li> <li>• Las reacciones con ozono en medios acuosos son complicadas debido a su baja solubilidad.</li> <li>• Necesidad de monitoreo constante del pH y de las concentraciones de ozono en el aire y el efluente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo de que el ozono se libere a la atmosfera.</li> <li>• Pueden formarse subproductos de reacciones indeseables.</li> <li>• Tecnología importada.</li> </ul>

Finalmente, en la tabla a continuación se analiza el tratamiento del efluente con tecnología del tipo Fenton. Si bien esta tecnología, al igual que el Ozono, requiere de la medición constante del pH e incluso de un sistema posterior de sedimentación, es una tecnología ampliamente estudiada para el tratamiento de efluentes, que es de simple operación y utiliza insumos que son baratos y fácilmente accesibles. A su vez, los equipos para su emplazamiento pueden ser contruidos in situ si así se lo quisiera. Al igual que con el ozono, sería conveniente realizar ensayos en el laboratorio para su diseño. Sin embargo, esto excede el alcance de este trabajo, por lo que se utilizarán datos obtenidos de

bibliografía. Una vez emplazada las unidades de tratamiento serían fácilmente operables por los trabajadores de la planta existente, y se tiene la disponibilidad para realizar ensayos in situ para su puesta a punto y operación.

TABLA V: ANÁLISIS FODA DEL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES CON FENTON.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insumos baratos y fácilmente accesibles.</li> <li>• No utiliza componentes tóxicos.</li> <li>• Proceso simple de operar.</li> <li>• Las condiciones de trabajo son a temperatura ambiente y presión atmosférica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología ampliamente estudiada.</li> <li>• Abundante información sobre su emplazamiento en industrias.</li> <li>• Posibilidad de utilizar proveedores locales.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de controlar el pH.</li> <li>• Se debe asegurar que los lodos con hierro sean removidos.</li> <li>• Necesidad de hacer ensayos para su diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una súbita repentina de la temperatura puede indicar la existencia de algún problema operacional.</li> <li>• Medio muy oxidante y ácido, con riesgo de corrosión y daño de los equipos e infraestructura.</li> </ul>

A partir del análisis FODA realizado, se concluyó que el tratamiento con Fenton es la mejor opción para desarrollar en el sitio de estudio. En la siguiente tabla se presenta la Matriz Estratégica que será implementada en el desarrollo de este proyecto.

TABLA VI: MATRIZ ESTRATÉGICA A IMPLEMENTAR EN EL PROYECTO.

	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se harán ensayos de eficiencia in situ para la puesta a punto.</li> <li>• Se operará la unidad con el personal que se encarga actualmente de la planta existente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se instalará una unidad de sedimentación acorde a la necesidad similar a la existente actualmente en la planta.</li> <li>• Se utilizará la basta bibliografía existente para el diseño de la unidad de tratamiento.</li> </ul>
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se comprará tecnología local para el seguimiento de parámetros en el efluente, similar a la existente en el sitio actualmente.</li> <li>• Se utilizarán materiales capaces de soportar medios ácidos sin la necesidad de complejizar la operación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se hará el diseño y desarrollo de un sistema adecuado para el tratamiento de los efluentes, basándose en bibliografía y considerando las limitaciones del lugar de emplazamiento.</li> </ul>

## CAPÍTULO 6: DISEÑO DEL TREN DE TRATAMIENTO

A partir del análisis realizado en el capítulo anterior, en este capítulo se detallará el diseño de las unidades de tratamiento propuestas. En lugar de agregar un reactor Fenton en cada una de las plantas que se tiene en el predio, lo que se propone es tratar los efluentes crudos de STP#7 y STP#6, en la planta de tratamientos del campamento A, buscando siempre que las unidades diseñadas sean compatibles con la planta de tratamiento que se tiene actualmente.

Como se mencionó anteriormente, la planta de A se encuentra diseñada para un caudal de 1.000 m<sup>3</sup>/día. En línea con esto, el caudal al que ha trabajado esta planta durante el período relevado fue de 586 m<sup>3</sup>/día. Considerando que a este efluente es necesario sumarle 140 m<sup>3</sup>/día que llegarían con camiones atmosféricos desde las plantas de STP#7 (70 m<sup>3</sup>/día) y STP#6 (70 m<sup>3</sup>/día), aun así, continuaríamos estando aproximadamente un 25% por debajo del caudal límite de diseño de la planta. Dejándonos un factor de seguridad suficiente para operar la planta en caso de crecimiento de la

población hospedándose en el campamento. Dicho esto, todos los diseños a continuación serán realizados en línea con este caudal máximo.

Por otro lado, además del tratamiento Fenton, se incluirá como mejora al diseño existente un sistema de desbaste previo al ecualizador y luego de la cámara de descarga para camiones atmosféricos. Este sistema de desbaste consistirá en un sistema de rejas, una cámara de bombeo y un tamiz del tipo estático. A su vez, post tratamiento del efluente se incluirá un sistema de compostaje en pilas para los lodos resultantes del proceso con el fin de poder reaprovecharlos para paisajismo o forestación y fomentar la circularidad del proceso.

En la figura a continuación se puede observar los cambios propuestos sobre el tren de tratamiento para el efluente líquido.

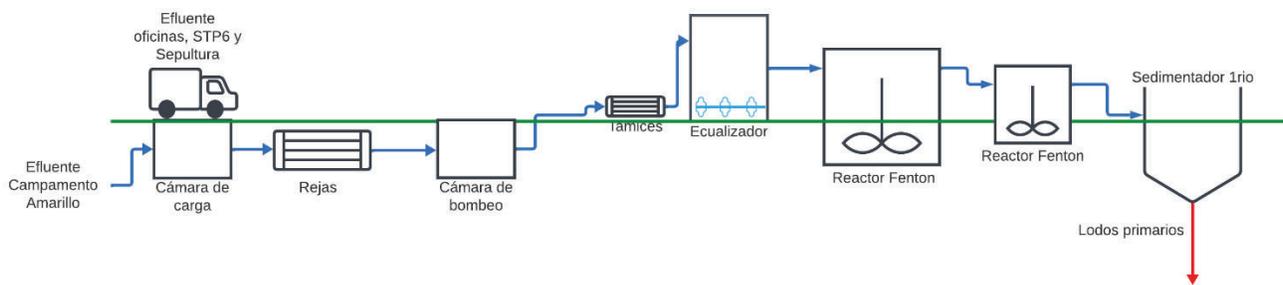


FIGURA 11: DIAGRAMA DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO A DISEÑAR

Para el diseño de estas unidades se tendrán en cuenta los parámetros medidos durante la campaña de monitoreo realizada en mi estadía en el sitio del proyecto y los análisis históricos proporcionados por la empresa. Si bien habría que tener en cuenta un cierto factor de dilución por el efluente que se está sumando de los puntos STP#7 y STP#6, a efectos de este trabajo se decidió tomar el efluente muestreado en el punto del ecualizador de la planta A como el que mejor representa el efluente a tratar y trabajar con el escenario más complejo es decir de mayor concentración de fenoles. A su vez, dada la amplia diferencia entre las dos muestras tomadas en este punto, para hacer una correcta caracterización del efluente se deberían repetir y ampliar la cantidad de muestras tomadas. Sin embargo, con el fin de poder estimar la eficiencia del tratamiento propuesto, se decidió tomar nuevamente el peor escenario posible y elegir la muestra 1 tomada a las 09:40 am. En la tabla a continuación se muestran los valores obtenidos. Para una mejor caracterización del efluente se deberían haber tomado más muestras a la salida del efluente del ecualizador y a la entrada de este, sin embargo, a falta de estos análisis se decide trabajar con el escenario planteado anteriormente.

TABLA VII PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE A TRATAR

Parámetro	Valor	Unidad
Coliformes Totales	160000	NMP/100ml
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	287	mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	954	mg/l
Fenoles	0.91	mg/l
pH de laboratorio	6.4	Unidad de pH

Sólidos Sedimentables 10 minutos	0.2	ml/l/10m
Sólidos Sedimentables 2 horas	1.5	ml/l/2hs
Sólidos Solubles en éter etílico	47.5	mg/l
Sólidos Totales Suspendidos de lab.	262	mg/l

En la figura a continuación se puede observar un esquema de la ubicación que tendrá cada unidad diseñada (en color fucsia) y como estas emplazarán con las unidades existentes. En color verde se observa el espacio en donde se encuentra actualmente el tanque de equalización, en color violeta el galpón en donde se encuentra el tren de tratamiento biológico y en azul en donde se encuentra el tanque de estabilización de lodos y el filtro prensa. Como veremos más adelante el compostaje de lodos será realizado en el predio que se encuentra en las cercanías del pueblo de Piran. Esto traerá múltiples beneficios para la operación y logística del proceso, en la sección correspondiente a este proceso se detallará más al respecto.

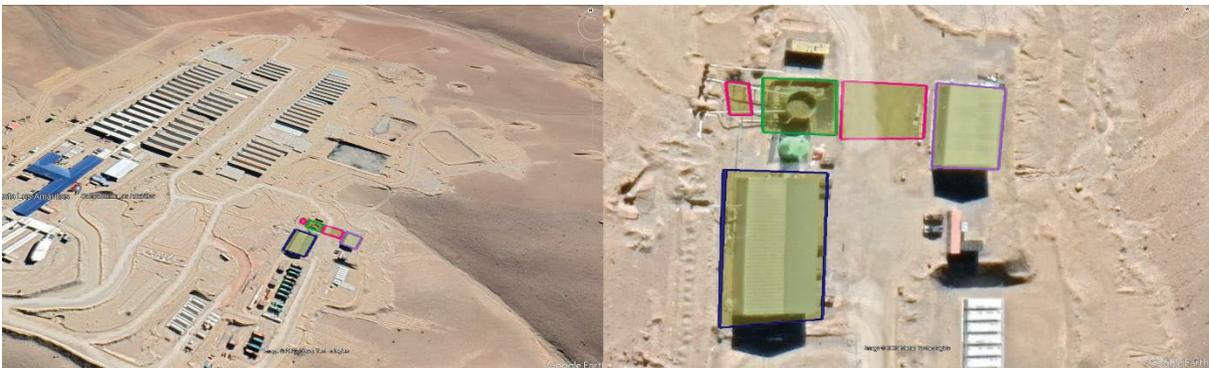


FIGURA 12 IMAGEN DE GOOGLE EARTH CON LA UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS EXISTENTE Y EL LUGAR EN DONDE SE UBICARÁN LAS UNIDADES DISEÑADAS.

A continuación, se presentará la memoria en donde se describirá detalladamente las unidades diseñadas y los resultados obtenidos. Por otro lado, más adelante se presentará la memoria de cálculo utilizada para el dimensionamiento del conjunto de unidades propuestas. En esta, se detallarán los criterios que se tuvieron en cuenta, se mencionarán los rangos recomendados en bibliografía para ciertos parámetros, se adaptarán a las condiciones en estudio y se analizarán las características de cada una de las unidades de diseño. Además, se detallará los equipos de conducción y dosificación. Dado que el espacio no es un problema en el predio en el que se está trabajando, el dimensionamiento de las unidades no es restrictivo en este sentido. Sin embargo, se tuvo en cuenta que las unidades diseñadas tengan alturas lógicas que hagan viable la operación y el emplazamiento.

## 6.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

Como se mencionó, se proponen algunas mejoras al diseño que se tiene actualmente en la planta de tratamiento del campamento A, por demás del tratamiento Fenton. Como parte de estas mejoras se incluirá un sistema de pretratamiento con rejas, una cámara de bombeo y dos tamices estáticos en paralelo, que eviten el ingreso de sólidos que puedan obstruir y/o dañar los sistemas de bombeo. Así como el compostaje de los lodos generados durante el tratamiento, que

permita su posterior utilización. A continuación, se detallará la teoría que caracteriza a cada unidad y los parámetros de diseño obtenidos para estas.

---

### 6.1.1 REJAS Y CÁMARA DE BOMBEO

En la primera unidad de pretratamiento, se busca eliminar los sólidos de gran tamaño que puedan venir con las aguas residuales, de esta manera también se protegen las siguientes unidades, evitando por ejemplo que los sólidos no degradables que contiene el afluente interfieran con el proceso de tratamiento, o se atasquen en algún equipo. Esto se logra con la cámara de rejas.

En este tipo de sistema, es muy importante la limpieza ya que la retención prolongada de los sólidos disminuye su sección útil, aumentando con ello la pérdida de carga. Esta tarea puede llevarse a cabo de forma manual o mediante un dispositivo mecánico.

Para facilitar la operación de la planta se pondrá un sistema de rejas idénticas en paralelo, una estará operativa y la otra se dispondrá por posibles inconvenientes o para su utilización en los períodos de mantenimiento y limpieza. Las rejas instaladas serán medias, con una inclinación de 45° y la limpieza de los sólidos retenidos será manual utilizando un rastrillo. Se eligieron este tipo de rejas por el caudal que se tiene y las características del efluente a tratar.

Por otro lado, dada las características mayoritariamente inorgánicas de los sólidos retenidos, no es conveniente enviarlos al digestor de lodos junto con los lodos que se generan a lo largo del sistema de tratamiento. En su lugar, los 6,5 kg/día serán enviados a disposición final.

Luego, el efluente pasa a una cámara de bombeo de 0.37 m<sup>3</sup>, la cual tiene capacidad de almacenar el volumen de agua requerido para 1 minuto de operación, considerando el caudal pico. Un volumen mayor aumentaría el tiempo de retención, y podría permitir la sedimentación de algunos sólidos, lo cual no es el objetivo de esta unidad. Esta cámara sirve para bombear el efluente hacia el tamiz estático.

---

### 6.1.2 TAMIZ

El tamiz es un equipo destinado a la filtración o tamizado de finos en todo tipo de aguas en general con el objetivo de realizar una separación sólido-líquido. Hay una amplia variedad de equipos para elegir en donde el tamaño de la partícula filtrada varía de 1200 µm hasta 5 mm. Se eligió trabajar con un tamiz estático el cual es utilizado como tratamiento primario y retiene partículas desde 0.25 a 2,5 mm, sin consumo eléctrico (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

El líquido a filtrar cargado de sólidos entra en el tamiz a través de una tubería situada en la parte trasera del equipo. Se va acumulando en el cajón de alimentación, así el nivel aumenta llegando al desbordamiento, fluyendo una lámina de agua homogénea por toda la superficie del tamiz. Esta lámina de agua se desliza por gravedad por toda la superficie de tamizado y por la forma geométrica de la malla filtrante (efecto Coanda), se produce la separación del sólido-líquido. El

líquido pasa a través de las ranuras depositándose en el cajón de salida. Este líquido es desalojado hacia el exterior a través de una tubería. Por otra parte, quedan los sólidos que se deslizan sobre la malla hasta el borde inferior, donde son recogidos en una cesta y enviados a disposición final.

Estos equipos se componen por una Malla Filtrante fabricada íntegramente en acero inoxidable AISI 304 o AISI 316. Esta se encuentra formada por perfiles de sección triangular sobre una serie de barras de soporte las cuales maximizan el rendimiento de filtración. Todos y cada uno de los puntos de cruce entre los perfiles de sección triangular y las barras de soporte van soldados, dando al conjunto una elevada rigidez y resistencia. La separación entre los perfiles triangulares se regula durante su construcción a fin de obtener la luz de rendija deseada. Las luces de paso estándar de fabricación de los tamices estáticos son 0,25 mm, 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm y 2 mm.

El cuerpo también se encuentra construido íntegramente en acero inoxidable AISI 304 o AISI 316. Provee una caja de distribución del líquido a filtrar con su conexión de entrada, un depósito receptor del líquido filtrado con su conexión de salida, una base de anclaje y una bandeja de salida de sólidos. La caja de distribución tiene la misión de repartir el líquido sucio en todo el ancho de la malla, la entrada se realiza mediante una brida normalizada, tiene un registro lateral para mantenimiento. El depósito receptor del líquido filtrado se encuentra debajo de la malla, siendo su propósito recoger el líquido limpio y conducirlo hacia la salida embreadada (Energy, S.F).

Se eligió un tamiz estático de la empresa Aqua Energy, modelo TES-12-800 con una luz de paso para el filtrado de los sólidos en suspensión de 1,5 mm y un caudal máximo de 55 m<sup>3</sup>/h, en el Anexo 3 se encuentra la ficha técnica del equipo elegido. Para facilitar la operación de la planta se pondrá un tamiz idéntico en paralelo, uno estará operativo y el otro se dispondrá por posibles inconvenientes o para su utilización en los períodos de mantenimiento y limpieza.



FIGURA 13: TAMIZ ESTÁTICO MODELO TES-20-975

Se adoptó de bibliografía (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) un porcentaje de remoción de los SST del 10% y un porcentaje de remoción de la DBO de un 6% obteniendo así un efluente de salida con SST=236 mg/l y DBO=258,3

mg/l. Además, se tiene una generación de sólidos de 16,14 kg/día, estos sólidos al igual que los generados en el sistema de rejas serán enviados a disposición final por sus características mayormente inorgánicas.

---

### 6.1.3 TRATAMIENTO FENTÓN

Como se mencionó en el capítulo anterior, el proceso Fentón permite la oxidación de la materia orgánica recalcitrante a través de la formación de radicales oxidrilos, con el agregado de sales de hierro en presencia de  $H_2O_2$  y pH ácido. La biodegradabilidad del efluente aumenta de 0,3 a 0,75 favoreciendo aguas abajo en el proceso la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos en las unidades biológicas.

Para su diseño, es importante saber que parámetros como el pH, la concentración de reactivos y el tiempo de reacción son factores claves a tener en cuenta para mejorar el rendimiento de la reacción.

El pH debe encontrarse en valores cercanos a 3 para que no ocurra la especiación del hierro, ya que al disminuir la concentración de  $Fe^{2+}$  disminuye también la de oxidrilos. A pH menores a 2, disminuye la concentración de oxidrilos por la formación de complejos de hierro y a pH mayores a 4 porque comienzan a aparecer precipitados de hidróxido férrico y oxohidróxidos y se favorece la descomposición de  $H_2O_2$ .

La relación estequiométrica entre los reactivos es otro de los factores que determinan la eficiencia de la reacción, así como uno de los principales parámetros de control del proceso. Mientras que el incremento en la concentración de  $Fe^{2+}$  aumenta la velocidad de la reacción, el aumento en la concentración de  $H_2O_2$  aumenta la eficiencia de la oxidación. El  $H_2O_2$  necesita una gran cantidad de hierro para su descomposición en radicales oxhidrilos, razón por la cual la velocidad de oxidación de las moléculas orgánicas no incrementa a medida que aumenta la concentración del oxidante y/o el catalizador. Además, grandes cantidades de  $H_2O_2$  y de  $Fe^{2+}$  limitan el porcentaje de oxidación del contaminante ya que favorecen reacciones secundarias.

La determinación de la relación estequiométrica óptima en función de la carga orgánica del efluente a tratar, junto con la cinética del proceso resulta primordial para conseguir la máxima eficiencia del proceso. A su vez, el proceso Fentón suele tener una alta generación de espuma y una reacción química exotérmica que podría complicar la operación de no tenerlo estudiado previamente para su control. Sin embargo, los ensayos de laboratorio para corroborar estas cuestiones se encuentran por fuera del alcance de este trabajo, razón por la cual se definieron los parámetros del proceso a utilizar a partir de datos bibliográficos. Si bien se hizo un amplio estudio sobre la degradación de los fenoles por medio de la oxidación Fentón, para el diseño de las unidades de tratamiento del proyecto se priorizaron aquellas fuentes bibliográficas que utilizaban esta tecnología en efluentes industriales, a partir de estas fue que se realizó la tabla que se muestra a continuación.

TABLA VIII: PARÁMETROS DE DISEÑO DE TRATAMIENTO FENTÓN TOMADOS DE BIBLIOGRAFÍA

Efluente	DQO	Fenoles	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (M)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe	pH	Tiempo (min)	G	% remoción DQO	% remoción fenoles	Autor
Olive Mill waste water	74,4	1,8	0,36	18	3	60	slow	83%	98,6%	(Madani, y otros, 2015)
Coking water	84	1,9	0,3	6	3.3	60	150	50%	95%	(Libing, Jianlong, Jing, Haiyang, & Xulin, 2012)
Olive Mill waste water	40	1,67	0,20	10	3	40	200	50%	83%	(Dogruela, Olmez-Hancia, Kartala, & Arslan-Alatona, 2009)

Para el proceso de oxidación Fentón se diseñaron 2 reactores del tipo circulares, en el primero se llevará a cabo la oxidación de la materia orgánica y en el segundo se buscará aumentar nuevamente el pH a 7 para cortar la reacción de oxidación y precipitar el hierro adherido. A continuación, se diseñó un sedimentador primario para separar el efluente clarificado de los lodos generados.

El proceso comienza con el ajuste del pH en el tanque equalizador ya existente, utilizando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y un sensor en la entrada del efluente al tanque que permita su dosificación.

La inyección de los reactivos se hace previo al ingreso del primer reactor utilizando bombas dosificadoras, primero se inyecta el reactivo de hierro (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0,03M) con una dosis de 156 l/h y luego el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,3M) con una dosis de 366 l/h. El efluente mezclado con los reactivos va al reactor de mezcla completa donde ocurre la oxidación durante 60 minutos. El reactor tiene una altura y un diámetro de 3,8 m y turbinas del tipo radial con una velocidad de agitación de 60 rpm.

A continuación, el efluente pasa al segundo reactor para ajustar el pH con NaOH durante 10 minutos. El reactor tiene una altura y un diámetro de 2 m y turbinas del tipo radial con una velocidad de agitación de 99 rpm. A la salida de la cámara se colocó un sensor de pH y un sistema de válvulas que permite el retorno del efluente en caso de detectar que el pH se encuentra fuera del rango óptimo de sedimentación y/o a un pH que pueda ocasionar problemas en las unidades de tratamiento que se encuentran aguas abajo.

#### 6.1.4 SEDIMENTADOR PRIMARIO

Finalmente, el efluente ingresa al sedimentador primario del tipo circular de 5 m de diámetro y 3 m de altura, por una cañería central con orificios. De esta forma se logra que el efluente ingrese de forma uniforme evitando altas velocidades que puedan perjudicar el proceso de sedimentación de los barros. Para la recolección de los lodos generados, el sedimentador posee una tolva con forma de cono truncado que permite que los barros acumulados caigan por gravedad por la canaleta central recolectora, estos lodos son enviados para su digestión anaerobia junto con los lodos generados en el tratamiento biológico (tratamiento preexistente). Para evitar divergencias en el flujo y la resuspensión de partículas,

el efluente clarificado sale a través de 6 vertederos triangulares de 90° hacia una canaleta colectora. Desde allí, es conducido hacia la primera etapa del tratamiento preexistente (cámara de bombeo y posterior equalizador).

Teniendo en cuenta los resultados provistos en la bibliografía, se esperaría que luego del tratamiento Fentón la DQO del efluente disminuya entre un 50 y un 80%, adoptando un valor de 50% para ser conservadores, quedaría una concentración de salida de 477 mg/l. En el caso de los fenoles, según la bibliografía su concentración disminuye entre un 80 y un 90% teniendo entonces una concentración de salida 0,091 mg/L al finalizar el tratamiento Fentón. A su vez, esta concentración puede disminuir entre un 30% y un 40% más con el tratamiento biológico existente que le sigue al tratamiento Fentón propuesto teniendo así una concentración de salida en el efluente clarificado de 0,05 mg/l. Finalmente, el sedimentador primario disminuirá un 53% la concentración de los sólidos solubles totales teniendo una concentración de salida de 112 mg/l y una generación de lodos de 2,43 m<sup>3</sup>/d. Estos serán enviados junto con los lodos secundarios generados en el tratamiento biológico, a un tanque para su digestión y posterior filtración y compostaje.

---

### 6.1.5 COMPOSTAJE DE LODOS

Para finalizar el tren de tratamiento propuesto se decidió incluir el compostaje de los lodos finales, es decir los lodos resultantes de la digestión aerobia + filtración. Si bien estos no son catalogados como peligrosos al finalizar el tratamiento propuesto, y podrían ser enviados a disposición final como RSU, su compostaje permitirá su posterior utilización. De esta forma estaríamos evitando la generación de un residuo, así como los costos y gases de efecto invernadero asociados a este y fomentando la circularidad del proceso.

El compostaje es un proceso de descomposición aeróbica de la materia orgánica que se logra a través de condiciones controladas de temperatura, humedad, oxígeno y nutrientes. El producto resultante de este proceso tiene un gran valor agronómico como acondicionador del suelo. La inactivación de los organismos patógenos se produce principalmente por un mecanismo térmico, provocado por el aumento de la temperatura cuando se produce la máxima actividad de los microorganismos. Tanto los lodos crudos como los digeridos se pueden compostar. Se deben agregar al lodo materiales como astillas de madera, hojas, residuos verdes, paja de arroz, aserrín u otros agentes de carga para mejorar la retención de humedad, aumentar la porosidad y equilibrar la relación carbono-nitrógeno (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007).

A continuación, se detallarán los requisitos estipulados por normativa para la reutilización de los lodos cloacales como biosólidos, la teoría asociada a este proceso y los parámetros adoptados para el diseño de las pilas de compostaje, así como los resultados finales del mismo.

#### PROCESO DE COMPOSTAJE

---

Según (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007), el proceso de compostaje tiene lugar en tres etapas básicas, la primera es la fase mesófila inicial, en donde tiene lugar un rápido crecimiento de los organismos mesófilos, con un aumento gradual de la temperatura. En segundo lugar, está la fase termófila en donde el porcentaje de organismos

mesófilos disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo que lleva al crecimiento de bacterias termófilas y hongos. Estos organismos tienen una alta actividad y capacidad de reproducción, lo que provoca un mayor aumento de la temperatura, inactivando así a los organismos patógenos. Y finalmente, es la fase mesófila final en la cual, a medida que se agota la materia orgánica, la temperatura desciende y la población de bacterias termófilas disminuye, lo que permite que las bacterias mesófilas se establezcan nuevamente, aunque con menor actividad, como consecuencia de la escasez de materia orgánica.

Los principales agentes de carga utilizados son los residuos orgánicos domésticos urbanos y los residuos verdes, procedentes de la poda de árboles y del corte del césped. Sin embargo, el co-compostaje de estos materiales tiene la desventaja de aumentar el volumen a compostar, demandando disponibilidad de área adicional.

Los principales requisitos ambientales y parámetros de control de proceso para un compostaje eficiente son:

→ Relación carbono/nitrógeno

El carbono representa la fuente de energía para el compostaje, mientras que el nitrógeno es necesario para la reproducción de bacterias (síntesis de proteínas). El equilibrio entre estos dos parámetros asegura la eficiencia del proceso.

La relación C/N ideal para el compostaje de lodos cloacales debe oscilar entre 26 y 31 (Oorschot, Van, & Semple, 2000). Si la relación C/N es mayor que esto, los organismos no encontrarán suficiente nitrógeno, tendrán un crecimiento limitado y el proceso se volverá más lento, sin alcanzar la temperatura requerida para la eliminación de patógenos. Si la relación C/N es inferior al rango anterior, se pierde nitrógeno debido a la extracción de amoníaco, lo que disminuye la calidad del compost y aumenta el volumen de lixiviado que se genera (Fernandes, 2000). La relación C/N debe oscilar entre 10 y 20 al final del proceso, lo que se considera adecuado para la disposición final.

La introducción de otras fuentes de carbono ayuda a elevar la relación C/N, ya que los lodos suelen tener relaciones muy bajas.

→ Estructura física

Los lodos cloacales tienen una granulometría muy fina, lo que genera problemas de distribución del aire debido a la falta de espacios vacíos entre las partículas. La mezcla de lodos con residuos vegetales, paja, astillas de madera y otros, picados en tamaños de 1 a 4 cm, aumenta la porosidad dentro de la masa de lodos. Una porosidad del 30 al 35% generalmente permite una aireación adecuada. El material de carga también debe conducir a una relación C/N satisfactoria, como se mencionó anteriormente.

Agent	% solids	% N	% C
Tree pruning	65–75	0.8–1.2	45–55
Rice straw	80–90	0.9–1.2	35–40
Sugar-cane bagasse	60–80	0.1–0.2	40–50
Wheat straw	80–90	0.3–0.5	40–50
Sawdust	65–80	0.1–0.2	48–55
Raw sludge	1–4	1–5	30–35
Digested sludge	1–3	1–6	22–30
Dry digested sludge (drying beds)	45–70	1–4	22–30
Dewatered digested sludge (belt press)	15–20	1–4	22–30
Dewatered digested sludge (centrifuge)	17–28	1–4	22–30

FIGURA 14: CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES AGENTES UTILIZADOS EN EL COMPOSTAJE. (FUENTE: (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007))

#### → Humedad

La humedad debe monitorearse desde el principio hasta el final del proceso, ya que afecta directamente las velocidades de reacción. Los niveles ideales de contenido de agua son del 50 al 60 %, y los valores más altos dificultan el paso de aire libre a través de los espacios vacíos, lo que conduce a zonas anaeróbicas. Los valores de humedad inferiores al 40% inhiben la actividad bacteriana y el aumento de temperatura para la inactivación de organismos patógenos.

#### → Aireación

El suministro adecuado de oxígeno es esencial para el crecimiento de organismos aeróbicos, que son los principales responsables del proceso. El suministro de oxígeno deberá ser suficiente para facilitar el control de la velocidad de reacción y asegurar condiciones aeróbicas en toda la masa en proceso de compostaje. Estos son factores esenciales para el aumento de temperatura y la inactivación de organismos patógenos.

Algunos sistemas usan aireación natural mientras que otros usan aireación forzada, con introducción directa de aire en el núcleo de masa. La aireación excesiva disminuye la humedad y reduce la temperatura de la pila, causando problemas en la calidad del producto final. Los sistemas de aireación forzada requieren una estimación precisa del oxígeno necesario a lo largo de todas las etapas del proceso para asegurar la eliminación adecuada de patógenos.

Estequiométricamente, la demanda promedio de oxígeno es de 2 kg O<sub>2</sub> por kg de sólidos volátiles. Las tasas que oscilan entre 12 y 30 m<sup>3</sup> de aire/hora por kg de mezcla seca se utilizan normalmente al comienzo de los procesos por lotes. Estas tasas pueden incrementarse a lo largo del proceso, llegando hasta 190 m<sup>3</sup> aire/hora por kg de mezcla seca (Malina, 1993); (WEF, 1996).

Para los sistemas de aireación natural, la USEPA recomienda revolver la mezcla al menos cinco veces durante la fase termófila. Los sistemas continuos y de mezcla completa demandan alrededor de 43 kg de aire por kg de mezcla, lo que equivale a 1200 m<sup>3</sup> de aire/hora por tonelada seca. Por lo general, los sopladores de 0,5 a 2 HP son adecuados para este volumen.

## → Temperatura

La temperatura es un parámetro fácil de seguir que indica el equilibrio del proceso biológico y, por tanto, su eficacia. Durante los primeros 3 días, un rango de temperatura entre 40 °C y 60 °C indica que el proceso está funcionando adecuadamente. De lo contrario, es probable que no se esté cumpliendo algún requisito ambiental (relación C/N, humedad o pH) (Fernandes, 2000). La temperatura ideal para la fase termófila es de 55 a 65 °C. A temperaturas más altas, la actividad bacteriana disminuye y el ciclo requerido se alarga. A temperaturas más bajas, puede ocurrir una disminución insuficiente de organismos patógenos. El control de la temperatura se puede lograr aumentando la aireación, ayudando a disipar el calor de la mezcla liberado a través de la reacción.

La Tabla de la figura a continuación muestra el tiempo requerido para la inactivación de algunos organismos patógenos durante el proceso de compostaje, a varias temperaturas.

Organism	Exposure time (minutes)					Remark
	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C	
<i>Salmonella</i>	10,080		2,880			real
<i>Salmonella</i>			30		4	laboratory
Type-1 Poliovirus			60			real
<i>Ascaris lumbricoides</i>			240	60		real
<i>Ascaris</i> eggs	60	7				laboratory
<i>Mycobacteria tuberculosis</i>				20,160	20	real
<i>Escherichia coli</i>			60		5	laboratory
Faecal coliforms					60	laboratory
<i>Entamoeba histolytica</i>	5					laboratory
<i>Necator americanus</i>	50					laboratory
Virus					25	laboratory
<i>Shigella</i>	60					laboratory

Source: Adapted from WPCF (1991), JICA (1993), UEL (1999)

FIGURA 15: TEMPERATURA Y TIEMPO REQUERIDOS PARA LA INACTIVACIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS DURANTE EL COMPOSTAJE. (FUENTE: (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007))

## → pH

El pH es un parámetro importante para la actividad microbiana. El mejor rango es 6.5–9.0. La reducción del pH puede ocurrir al comienzo del proceso de compostaje, debido a la producción de ácidos orgánicos, pero este problema se resuelve tan pronto como el proceso alcanza la fase termófila. Por tanto, si la relación C/N de la mezcla es adecuada, el pH no suele ser un factor crítico (Fernandes, 2000).

Las principales ventajas del proceso de compostaje son que genera un producto final de alta calidad, ampliamente aceptado en la agricultura, es posible su uso combinado con otros procesos de estabilización y tiene un bajo costo de capital (compostaje tradicional). Las principales desventajas son la necesidad de un lodo con alta concentración de sólidos (>35%); la necesidad de equipos de rotación y/o generación de aire; los requerimientos considerables de tierra y el riesgo de generación de malos olores.

Según (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007) los procesos de compostaje se pueden dividir en compostaje en pilas, el cual es el proceso de compostaje más simple y tradicional y el elegido para este proyecto, el compostaje de pilas estáticas aireadas y el compostaje biológico en un reactor cerrado.

En el sistema de pilas la mezcla se coloca en hileras largas, de 1,0 a 1,8 m de alto, de 2,0 a 5,0 m de ancho. Las hileras se voltean mecánicamente y se mezclan a intervalos regulares, durante al menos 15 días (USEPA, A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule., 1994) o hasta completar el proceso de modo que el material en la superficie exterior se incorpora dentro de la pila. Durante este período, la temperatura debe mantenerse al menos a 55 °C. El proceso completo (incluido el tiempo de curado) normalmente toma de 50 a 90 días para una estabilización adecuada. Las hileras generalmente se construyen al aire libre, excepto en áreas de fuertes lluvias. La aireación se produce por medios naturales a través de la difusión de aire en la mezcla y por renovación periódica. Los requerimientos de tierra son los más altos entre los procesos de compostaje, siendo de aproximadamente 0,40 ha por cada 1.000 kg de sólidos secos compostados por día.

El equipo usado para el volteo determina el tamaño del área de compostaje, la separación entre hileras y tamaño de pilas. Los cargadores frontales se utilizan cuando el volumen del material es relativamente pequeño, pero necesita de gran espacio entre las pilas para maniobrar. Las volteadoras, en cambio permiten mover gran cantidad de material y son utilizadas cuando el volumen de residuos es bastante grande, además necesita de un menor espacio entre hileras ya que trabajan sobre la pila (USEPA, A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule., 1994).

Finalmente, la cantidad de lixiviado generada por la descomposición del lodo durante el compostaje depende de varios factores, pero se puede hacer una estimación general utilizando la relación carbono/ nitrógeno (C/N) de los lodos y algunas consideraciones sobre la composición de los lodos y el proceso de compostaje,

La relación C/N es un factor clave en la generación de lixiviado durante el compostaje. Si los lodos tienen una relación C/N baja (por ejemplo, lodos ricos en nitrógeno), es más probable que generen lixiviado, ya que hay un exceso de nitrógeno disponible para la mineralización microbiana. Una relación C/N adecuada ayuda a minimizar la generación de lixiviado.

Los lodos ricos en materia orgánica tienden a generar más lixiviado, ya que hay más material orgánico disponible para la descomposición microbiana. La descomposición de la materia orgánica en los lodos libera compuestos solubles en agua que pueden convertirse en lixiviado.

La cantidad de agua presente en los lodos al comienzo del proceso de compostaje también influye en la generación de lixiviado. Lodos más húmedos tienen más agua disponible para transportar los solutos producidos durante la descomposición hacia abajo, lo que aumenta la generación de lixiviado.

La forma en que se maneje el compostaje es crucial. Un buen proceso de compostaje que incluye una adecuada aireación y volteo de los lodos puede ayudar a controlar la generación de lixiviado al facilitar la descomposición aeróbica de los materiales orgánicos.

## MANEJO SUSTENTABLE DE LODOS – RESOLUCIÓN 410/18

Según la resolución 410/18, los lodos cloacales son una mezcla de sólidos con distinto porcentaje de humedad originados como consecuencia de las operaciones de depuración de los efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales. Mientras que, por su parte, los Biosólidos son barros cloacales sometidos a tratamientos de estabilización y/o higienización mediante procesos físicos, químicos o biológicos.

La resolución divide los procesos de tratamiento entre aquellos que reducen fuertemente los patógenos (PRFP) y aquellos que los reducen significativamente (PRSP) esto luego será parámetro para definir para que podrán ser utilizados. En el caso del compostaje para reducir fuertemente los patógenos se deben realizar pilas estáticas en donde la temperatura de la pila sea mantenida a 55°C o más durante tres días. O pilas con volteo, en donde la temperatura de la pila sea mantenida en 55°C o más durante 15 días y durante dicho período sea volteada como mínimo cinco veces. En el caso de que se busque solamente reducir significativamente los patógenos las hileras deberán permanecer a una temperatura de 40°C o mayor durante cinco días y dentro de este período, los barros se deberán mantener durante cuatro horas, en el total de los cinco días, a una temperatura mayor a los 55°C.

Entre todas las formas de uso que se le pueden dar a los biosólidos, se decidió que para este proyecto las mejores son Forestación, floricultura y Paisajismo. En el caso de la forestación y floricultura, los biosólidos son utilizados como enmienda en plantaciones forestales, ornamentales y/o viveros. Así como también en aplicaciones a parcelas forestadas juveniles o maduras, en la reforestación en áreas disturbadas o reservas naturales y para promover el establecimiento de la vegetación. En el caso del paisajismo, son utilizados en la contención de taludes de caminos, rutas nacionales y provinciales, en la parquización de jardines públicos y campos deportivos y en la creación de hábitats con motivos estéticos.

Sin embargo, para poder darle estos usos, los biosólidos no deben tener parámetros por encima de los valores de referencia que se encuentran en la figura a continuación, o poseer alguna de las características que los definen como peligrosos en los términos del marco regulatorio vigente.

PARÁMETRO	MÉTODOS ANALÍTICOS	MÉTODOS DE DIGESTIÓN	VALOR DE REFERENCIA (mg/kg materia seca)
Arsénico			75
Cadmio			40
zinc			4000
Cobre			1750
Cromo Total			1500
Mercurio			25
Níquel			400
Plomo	Método SM 3112 B, 3113 B; 3114 B; 3120 B; 3125 B  Método EPA 200.7; 200.8; 200.9	Método EPA 3050 A; 3050 B; 3051 A	1200

FIGURA 16: CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN BIOSÓLIDOS.

Además, la resolución establece dos clases de biosólidos según la concentración de ciertos parámetros lo que permite luego diferir entre los usos que puedan darse a cada uno de ellos. Los biosólidos clase A y clase B son aquellos barros cloacales que son sometidos a algún tratamiento con el fin de reducir fuertemente su nivel de patogenicidad y su capacidad de atracción de vectores. Y que a su vez cumplen con alguno de los indicadores de estabilización que se muestran en la figura 18 y con el nivel de patógenos establecido para la clase correspondiente en la figura 19. Para el caso de este proyecto, debido a las utilizaciones elegidas, será necesario generar biosólidos clase A, los cuales pueden ser utilizados sin restricciones sanitarias para todas las formas de uso definidas por la resolución.

INDICADOR *	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR DE REFERENCIA
Reducción de Sólidos volátiles (SV)**	Método SM 2540 G	SV > 38%
ó		
Deflexión de Oxígeno (DO) ***	Método SM 2710 B	DO < 1.5 mg O <sub>2</sub> /hr/g ST

(\*) Por otros indicadores para determinar la reducción de atracción de vectores consultar EPA 503 CFR 40 Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Capítulo 8 y Apéndices C y D.

(\*\*) Para calcular la diferencia en la Reducción de Sólidos Volátiles, se deben considerar como puntos de medición el momento previo y posterior al tratamiento elegido (ANEXO III).

(\*\*\*) La Deflexión de Oxígeno se debe medir posterior al tratamiento elegido (ANEXO III)

FIGURA 17: VALORES DE REFERENCIA EN LA ESTABILIZACIÓN PARA REDUCCIÓN DE LA ATRACCIÓN DE VECTORES.

PARÁMETRO	MÉTODO DE DETERMINACIÓN	BIOSÓLIDOS	
		CLASE A	CLASE B
Coliformes fecales	Método SM 9221 E; 9222 D	< 1000 NMP/g MS	< 2.000.000 NMP/g MS
Salmonella	Método SM 9260 D	< 3 NMP/4 g MS	

FIGURA 18: NIVEL DE PATÓGENOS EN BIOSÓLIDOS. CLASIFICACIÓN.

En todos los casos, no podrán aplicarse biosólidos cuando la concentración de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) que se encuentra en el cuerpo receptor supere los valores de referencia definidos en la figura a continuación.

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA (mg/kg materia seca)
Arsénico	20
Cadmio	3
Cinc	600
Cobre	150
Cromo Total	750
Mercurio	0,8
Níquel	150
Plomo	375

FIGURA 19: CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN SUELOS

Por otro lado, la resolución define la cantidad de biosólidos que se puede aplicar por año en un cuerpo receptor que se determina según la dosis anual de biosólidos (DAB). A su vez, la cantidad máxima de biosólidos que se puede aplicar en un cuerpo receptor viene determinada por la dosis máxima de aplicación (DMA). La DAB y la DMA se deben calcular para cada uno de los ETPs definidos en la tabla anterior y se debe definir la dosis de aplicación según el valor

más restrictivo. No podrán utilizarse los biosólidos cuando por la aplicación de los mismos se superen los valores de referencia definidos en la figura a continuación.

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA
	(kg/ha)
Arsénico	1,8
Cadmio	0,5
Zinc	100
Cobre	40
Cromo Total	10
Mercurio	0,3
Níquel	10
Plomo	50

FIGURA 20: CARGA MÁXIMA DE APLICACIÓN

Para el sitio o cuerpo receptor donde se decida realizar la aplicación de biosólidos, se deben seguir los siguientes criterios:

- Estar ubicado a más de 300 metros de una captación de agua subterránea o pozos de toma de agua potable público o privado. Estar ubicado como mínimo a 300 metros del curso o cuerpo de agua más cercano (ambientes lénticos, lóticos, cuerpos permanentes o transitorios). Estar ubicado a 300 metros de áreas anegadas o donde se verifiquen procesos de afloramiento del nivel freático recurrentes, tanto de origen natural o derivados de actividades antrópicas.
- Estar ubicado fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales para agua potable de una longitud de 1.000 metros aguas arriba del punto de captación y 200 metros aguas abajo, y un ancho de 500 metros.
- Estar ubicado en áreas donde el suelo posea una permeabilidad menor a  $10^{-4}$  cm/seg.
- Estar ubicado en áreas donde el suelo posea un pH superior a 5.
- Estar ubicado en suelos arcillosos, arcillo-limosos, francos arcillosos o franco arcillo limosos.
- Estar ubicado en áreas donde el nivel freático se encuentre a más de 2 metros de profundidad.
- Estar ubicado en áreas donde el contenido de EPT en el suelo no supere alguno de los valores de referencia que figuran en la tabla de la figura que se muestra a continuación.

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA
	(kg/ha.año)
Arsénico	0,5
Cadmio	0,15
Zinc	30
Cobre	12
Cromo Total	3
Mercurio	0,1
Níquel	3
Plomo	15

FIGURA 21: CARGA ANUAL DE APLICACIÓN

- Estar ubicado en áreas con pendientes inferiores al 10%. En los casos de suelos con pendientes superiores al 10%, y para los sitios sujetos a restauración del paisaje, se podrá realizar aplicación localizada.
- Estar ubicado en zonas donde no exista un balance hídrico desfavorable o negativo para su aplicación.

Finalmente, a los fines de garantizar que durante el almacenamiento de barros cloacales o biosólidos no existan riesgos para la salud, el bienestar para la población y el ambiente se recomienda que el recinto destinado a tal fin se encuentre aislado, con rejilla perimetral para recolección de lixiviados, con techo cobertor y acceso restringido. Asimismo, se requiere que los barros sean acopiados en condiciones donde se pueda asegurar que los mismos se encuentren estabilizados y no generen olores.

### PILAS DE COMPOSTAJE DISEÑADAS

Como bien se mencionó, se decidió diseñar un sistema de pilas de compostaje con volteo mecánico y aireación natural. En primer lugar, para facilitar la operación del sistema propuesto se decidió emplazarlo a 150 km del campamento minero, en las cercanías del pueblo de Piran, donde la empresa cuenta con un predio. De esta forma se tendrá un mejor control sobre algunos parámetros operativos como la temperatura y la humedad. En la figura a continuación se observa el lugar elegido para llevar adelante el sistema de compostaje, para su elección se tuvieron en cuenta la dirección de los vientos y pendientes de desagüe en la zona.



FIGURA 22: UBICACIÓN DEL PREDIO PARA EL COMPOSTAJE DE LODOS.

Se tienen 0,2 tn de lodos a disponer por día que deberán ser mezcladas con 0,5 tn de restos de poda para alcanzar los valores recomendados en bibliografía para la relación C/N, la porosidad y la humedad. Las pilas diseñadas tendrán una altura de 1 m, un ancho de 2 m y un largo de 0,4 m. Además, cada pila tendrá una extensión de 15 días para finalizar el primer proceso de compostaje.

La zona en donde se ubicarán las pilas en descomposición estará impermeabilizada con una platea de hormigón con un espesor de 0,3 m con el fin de lograr que la permeabilidad sea menor a  $10^{-4}$  cm/seg y tendrá una pendiente del 2% para que escurran los lixiviados hacia el sistema colector. En esta instancia del proceso de compostaje, las pilas serán volteadas

mecánicamente al menos 5 veces utilizando una Removedora de compost RCO. Luego el material pasará al área de curado donde permanecerá por 50 días, dicha zona de maduración será impermeabilizada únicamente con bentonita ya que en esta etapa el compost no produce lixiviados.

El sistema generará 15 m<sup>3</sup>/mes de líquido lixiviado el cual será reutilizado para el humedecimiento del compost. Para su recolección se diseñó una pileta de hormigón de 1,5 m de profundidad y 3,5 m de lado. El líquido irá por canaletas de DN 50 mm por medio de gravedad hasta la pileta de recolección de lixiviados. Y desde allí será bobeado para su reutilización mediante una boba marca Grundfos modelo SLV.80.80 .11.4.50D.C. Esta se eligió siguiendo las ecuaciones presentadas en la sección 6.2.4 de sistemas de conducción.

Además, como se ha mencionado, para mantener la eficiencia del proceso resulta indispensable el monitoreo in situ de parámetros físicoquímicos como las condiciones de temperatura, humedad y pH. A partir de los resultados que surgen de dicho seguimiento, se realizan las adecuaciones necesarias para estimular la actividad de los microorganismos y optimizar el proceso de degradación.

El área total de predio será de 771 m<sup>2</sup>, considerando el área de compostaje (177 m<sup>2</sup>), el área de curado (431 m<sup>2</sup>) y un 30% extra para el almacenamiento del biosólido final, el paso de las maquinarias y las oficinas y áreas administrativas y de guardado de equipos. A su vez, la planta de compostaje trabajará en turnos de 6x2 durante todo el año para acompañar la operación de la mina, en horario central de 7 a 16h.

El biosólido final obtenido será utilizado como abono en proyectos de forestación que tiene la empresa en distintos lugares de la zona con las comunidades locales, siempre cuidando no que excedan los parámetros calculados según la resolución 410/18 para cada uno de los elementos potencialmente tóxicos según se observa en la tabla XXVIII.

## 6.2 MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación, se muestra el detalle de los cálculos realizados para el dimensionamiento del sistema de tratamiento elegido.

---

### 6.2.1 REJAS Y CÁMARA DE BOMBEO

Se optó por un sistema de rejas de limpieza manual debido al caudal con el que se trabaja (22,4 m<sup>3</sup>/h). Para dimensionarlo, fue necesario adoptar los valores de ciertos parámetros (tabla IX) basándose en los rangos típicos establecidos por (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

TABLA IX: PARÁMETROS ADOPTADOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE REJAS.

Parámetro		Rango	Valor adoptado
$\beta$	Factor de forma de la barra (circular)	-	1,79
W	Anchura máxima transversal de las barras (m)	0,005-0,015	0,015
b	Separación mínima entre las barras (m)	0,025-0,05	0,03
$\theta$	Angulo reja con respecto a horizontal	30-45	45
Va	Velocidad de acercamiento (m/s)	0,3-0,6	0,4

El área del canal ( $A_c$ ) se calculó según la siguiente ecuación,

$$A_c = \frac{Q}{v_a} = 0,02 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

A partir del área calculada se verificó que la velocidad de acercamiento se encontrará dentro del rango establecido por bibliografía para rejas con limpieza manual (0,3 – 0,6 m/s) para el caudal máximo horario (30,25 m<sup>3</sup>/h) como para el caudal mínimo (14,6 m<sup>3</sup>/s), ambos datos fueron proporcionados por la empresa.

A partir del valor obtenido para el área del canal y adoptando un valor del ancho del canal de 0,4 m, pudo determinarse la altura cinética del flujo que se aproxima a la reja ( $h_v$ ).

$$h_v = \frac{\text{Área del canal}}{\text{Ancho del canal}} = 0,04 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Obtenida la altura del tirante, se calculó la pérdida de carga ( $h_L$ ),

$$h_L = \beta \left( \frac{W}{b} \right)^{\frac{4}{3}} h_v \sin \theta = 0,11 \text{ m} \quad \text{Ecuación 3}$$

El valor obtenido para la pérdida de carga se encuentra dentro de los rangos previstos por literatura para aguas residuales (0,10-0,40 m). A continuación, se calculó la altura total, adoptando que la cota será de 1 m.

$$\text{Altura}_{total} = h_L + h_v + \text{cota} = 1,15 \text{ m} \quad \text{Ecuación 4}$$

La longitud se calculó a partir de la altura obtenida y el ángulo de inclinación de las rejas,

$$L_{total} = \frac{H}{\tan \theta} = 1,38 \text{ m} \quad \text{Ecuación 5}$$

Por último, se determinó la cantidad de rejas ( $N_b$ ) y espacios ( $N_e$ ) necesarios,

$$N_b = \frac{A_c - b}{a + b} = 9 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N_e = \frac{A_c + b}{a + b} = 10 \quad \text{Ecuación 7}$$

A continuación, se muestran en la tabla los valores obtenidos para el diseño del sistema de rejas.

TABLA X: RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE REJAS CON LIMPIEZA MANUAL

Sistema de rejas con limpieza manual		
HL	Pérdida de carga (m)	0,11
W canal	Ancho del canal (m)	0,4
Ac	Área del canal (m)	0,02
hv	Altura de flujo q llega (m)	0,04
H total	Altura total (m)	1,15
L	Longitud (m)	1,38
N espacio	Cantidad de espacios	10
N barra	Cantidad de barras	9

Según los datos adoptados de (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003), de la figura a continuación, se tiene una generación de sólidos de 6,5 kg/día.

Size of opening between bars, mm	Moisture content, %	Specific weight, kg/m <sup>3</sup>	Volume of screenings			
			ft <sup>3</sup> /Mgal		L/1000 m <sup>3</sup>	
			Range	Typical	Range	Typical
12.5	60-90	700-1100	5-10	7	37-74	50
25	50-80	600-1000	2-5	3	15-37	22
37.5	50-80	600-1000	1-2	1.5	7-15	11
50	50-80	600-1000	0.5-1.5	0.8	4-11	6

FIGURA 23: INFORMACIÓN TÍPICA DE LAS CARACTERÍSTICAS Y CANTIDAD DE SÓLIDOS REMOVIDOS DEL EFLUENTE CON SISTEMAS DE BARRAS (METCALF & EDDIE, 2003)

A continuación, la cámara de bombeo cumple la función de equalizar el caudal recibido y oficiar como amortiguador en caso de que sea necesario, para garantizar la operación continua de la planta de potabilización.

TABLA 11: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LA CÁMARA DE CARGA

Parámetros de diseño		
Geometría de la unidad	Cuadrada	
Altura de la unidad	1	m
Caudal máximo	22,4	m <sup>3</sup> /h
Tiempo de retención	1	min

El volumen de la unidad se calculó a partir de la siguiente ecuación,

$$V = Q_{m\acute{a}x} * t_R \tag{Ecuación 7}$$

Donde Tr es el tiempo de retención del efluente dentro de la unidad. A partir del volumen se calculó el área de la unidad según,

$$A = \frac{V}{h} \tag{Ecuación 8}$$

Donde h es la altura definida para la unidad. A continuación, considerando la geometría de la unidad, se calculó la medida de sus lados.

$$L = \sqrt{A} \tag{Ecuación 9}$$

Los resultados se muestran en la tabla a continuación,

TABLA 12: RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE BOMBEO.

Parámetros calculados		
Volumen	0,37	m3
Área	0,37	m2
Lado	0,61	m

### 6.2.2 TAMIZ ESTÁTICO

Se decidió elegir un tamiz de la empresa Aqua Energy en función del caudal de diseño y del tamaño de la luz de paso de la malla para el filtrado de los sólidos en suspensión requerido en una instancia de tratamiento primario (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). En base a esto, se optó por el modelo TES-12-800 con malla de 1,5 mm que permite trabajar con un caudal de hasta 55 m<sup>3</sup>/h. Además, se decidió poner dos equipos en paralelo que faciliten y permitan la operación constante de la planta frente a la necesidad de limpieza del equipo o en caso de algún averío. En la figura a continuación, se muestran las medidas del modelo elegido.

MODELO	A (mm)	B útil/total (mm)	C (mm)	D (mm)	Brida entrada DN	Brida salida DN	Peso (Kg)
TES-12-800	1220	900 / 1040	960	1060	125	150	210

FIGURA 24: MEDIDAS DEL MODELO DE TAMIZ ELEGIDO.

Para estimar la eficiencia de este equipo en la remoción de sólidos solubles totales y de la DBO, se adoptan los valores presentados por (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) en la figura a continuación.

Type of screen	Size of openings		Percent removed	
	in	mm	BOD	TSS
Fixed parabolic	0.0625	1.6	5-20	5-30
Rotary drum	0.01	0.25	25-50	25-45

FIGURA 25: PARAMETROS DE REMOCIÓN DE DBO Y SST (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

En este caso, buscando ser conservadores, se adopta un porcentaje de remoción de los SST del 10% y un porcentaje de remoción de la DBO de un 6% obteniendo así un efluente de salida con SST=236 mg/l y DBO=258,3 mg/l.

Al igual que para el sistema de rejas, para estimar la generación de sólidos, se adoptan los valores presentados por (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Obteniendo una generación de sólidos de 16,14 kg/día.

### 6.2.3 FENTÓN

El tratamiento Fentón comienza en el tanque de equalización en donde se instalará una bomba dosificadora de diafragma, para la inyección de  $H_2SO_4$  en el efluente para llevar el pH a 3. Esta bomba será comandada por un sensor de pH en la entrada del efluente al tanque y tomará el ácido de un maxi bidón mediante una lanza de succión. Se completa el sistema con un sensor de pH a la salida del tanque equalizador y una válvula automática para evitar la salida del efluente hacia el reactor de oxidación en caso de que el pH no cumpla con el rango necesario.

Además, se instalará una bomba de dosificación de los reactivos Fentón en el sistema de conducción, para su inyección en el efluente previo al ingreso en la cámara de oxidación. Se inyectarán  $Fe^{+2}$  (0,03M  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) con una dosificación de 156 l/h y luego  $H_2O_2$  (0,3M) con una dosificación de 366 l/h.

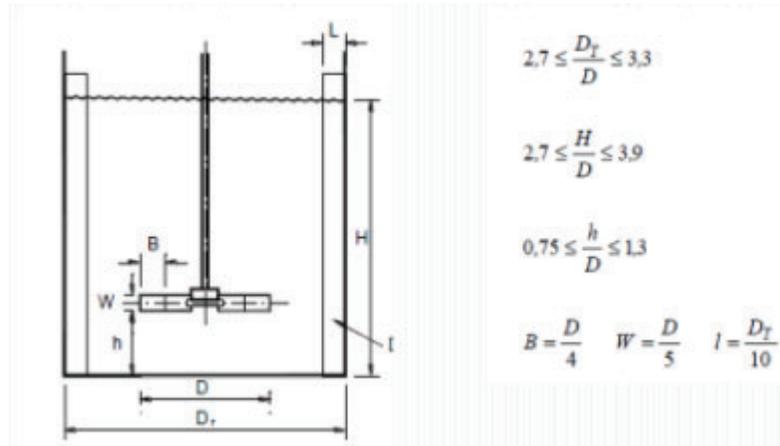
### REACTOR DE OXIDACIÓN

Se optó por diseñar un reactor del tipo circular, para ello se continuó tomando un caudal máximo de 42 m<sup>3</sup>/h. Además, se adoptó de bibliografía (tabla VIII) un tiempo de mezcla de 60 minutos. A partir del tiempo de mezcla y el caudal se calculó el volumen del reactor y adoptando una relación Altura/Diámetro total =1 se calcularon el resto de los parámetros. En la tabla a continuación se muestran los valores obtenidos.

TABLA XIII: RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO DEL REACTOR DE OXIDACIÓN

Q med (m <sup>3</sup> /h)	Tiempo de mezcla (s)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Diámetro total Dt(m)	Altura H(m)	Área (m <sup>2</sup> )
42	3600	42	3.77	3.77	11.15

Siguiendo el criterio de (Enhosa, 2018) se eligió una turbina de flujo radial, tipo 1 con seis láminas cortas ubicadas en un disco perpendicular al eje de giro, esta presenta la mayor potencia disipada, necesaria en mezcla rápida con gradientes



medios de velocidad elevada. En la figura 26 se muestra un esquema de las relaciones geométricas que deben cumplirse para el diseño de la cámara y la turbina.

FIGURA 26: RELACIONES GEOMÉTRICAS PARA TURBINAS DE FLUJO RADIAL. (ENHOSA 2018)

Remplazando los valores de altura (H) y diámetro total (Dt) calculados, y suponiendo que Dt/D=3 se calcularon los distintos parámetros necesarios para el dimensionamiento de la cámara y la turbina. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XIV: PARAMETROS OBTENIDOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA Y LA TURBINA

D (m)	H/D	H (m)	H/D	B (m)	W(m)	L(m)
1.256	3	1.256	1	0.314	0.251	0.377

Finalmente, para el cálculo de la potencia y el gradiente de velocidad se tomó como referencia la velocidad de agitación empleada en la bibliografía consultada (tabla VIII). A partir de dicha velocidad de agitación se calculó la potencia utilizando la siguiente ecuación,

$$P = n^3 * K * \rho * D^5 \tag{Ecuación 10}$$

Donde K es el número de potencia de la turbina y es igual a 5, ρ es la densidad y D el diámetro de la paleta calculado anteriormente. A partir del resultado obtenido, se calculó el gradiente de velocidad según la siguiente ecuación,

$$G = \sqrt[2]{\frac{P}{\mu * V}} \tag{Ecuación 11}$$

Donde μ es la viscosidad del fluido y V el volumen total del reactor. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XV: RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA Y EL GRADIENTE DE VELOCIDAD.

K	Gradiente de velocidad G(1/s)	Potencia P(W)	Velocidad de rotación n (rps)	n (rpm)

5	1290	72291	1.667	100
---	------	-------	-------	-----

Si bien el gradiente de velocidad debe encontrarse entre 300 y 1200 y el tiempo de mezcla debe ser menor a 7s en reactores con este tipo de turbinas, dado que no es parte de este trabajo realizar ensayos en el laboratorio para corroborar esto, se priorizó mantener el tiempo de reacción y velocidad de agitación que se observaron en los ensayos consultados y mantener así las condiciones lo más similares posibles para asegurar la degradación de los fenoles en el efluente.

### REACTOR DE AJUSTE DE PH

A continuación, el pH del efluente debe ser ajustado a 7 para cortar la reacción Fenton, inhibiendo la tasa de producción de  $\bullet\text{OH}$  y permitiendo la formación de iones  $\text{Fe}^{2+}$  que precipitan en forma de hidróxido. Nuevamente se diseñó un reactor del tipo circular tomando un caudal máximo de  $42 \text{ m}^3/\text{h}$ . Además, se adoptó un tiempo de mezcla de 10 minutos. A partir del tiempo de mezcla y el caudal se calculó el volumen del reactor y adoptando una relación Altura/Diámetro total =1 se calcularon el resto de los parámetros. En la tabla a continuación se muestran los valores obtenidos.

TABLA XVI: RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO DEL REACTOR DE OXIDACIÓN

Q med ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Tiempo de mezcla (s)	Volumen ( $\text{m}^3$ )	Diámetro total Dt(m)	Altura H(m)	Área ( $\text{m}^2$ )
42.00	600	6.94	2.07	2.07	3.36

Nuevamente se eligió una turbina de flujo radial, tipo 1 con seis láminas ubicadas de manera perpendicular al eje de giro. Y para el diseño se siguieron las relaciones geométricas que se muestran en la figura 29.

Remplazando los valores de altura (H) y diámetro total (Dt) calculados, y suponiendo que  $\text{Dt}/D=3$  se calcularon los distintos parámetros necesarios para el dimensionamiento de la cámara y la turbina. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XVII: PARAMETROS OBTENIDOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA Y LA TURBINA

D (m)	H/D	H (m)	H/D	B (m)	W(m)	L(m)
0.689	3	0.689	1	0.172	0.138	0.207

Finalmente, para el cálculo de la potencia y el gradiente de velocidad se adoptó de bibliografía un gradiente de velocidad G igual a  $700 \text{ 1/s}$  (Enhosa, 2018). A partir de este valor se calculó la potencia utilizando la siguiente ecuación,

$$P = G^2 * \mu * V \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde  $\mu$  es la viscosidad del fluido y V el volumen total del reactor. A partir del resultado obtenido, se calculó el gradiente de velocidad siguiendo la siguiente ecuación,

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * D^5}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde K es el número de potencia de la turbina y es igual a 5,  $\rho$  es la densidad y D el diámetro de la paleta calculado anteriormente. En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XVIII: RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA Y EL GRADIENTE DE VELOCIDAD.

K	Gradiente de velocidad G(1/s)	Potencia P(W)	Velocidad de rotación n (rps)	n (rpm)
5	700	3518	1.654	99

## SEDIMENTADOR PRIMARIO

Como última instancia del tratamiento propuesto para el efluente se diseñó un sedimentador primario circular con el fin separar el precipitado de hidróxido del efluente tratado. Para el dimensionamiento se adoptaron de bibliografía (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) los parámetros de diseño que se observan en la tabla a continuación.

TABLA XIX: PARÁMETROS ADOPTADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO.

Parámetro		Rango	Valor
Q (m <sup>3</sup> /d)	Caudal máximo		1000
Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal máximo		42
t (h)	tiempo de permanencia	1,5 - 2,5	1,5
Ch (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . día)	Carga superficial	30 - 50	50
$\alpha$ °	ángulo tolva	10-45°	45
d ct (m)	diámetro canaleta tolva	0,1-0,5	0,5

A partir del caudal máximo y la carga superficial, se calculó el área del sedimentador ( $A_{sed}$ ) según la siguiente ecuación,

$$A_{sed} = \frac{Q}{C_h} \quad \text{Ecuación 14}$$

A partir del tiempo de permanencia adoptado y el caudal máximo se calculó el volumen de la parte cilíndrica del sedimentador y la altura.

$$V = t * Q \quad \text{Ecuación 15}$$

$$H = \frac{V}{A_{sed}} \quad \text{Ecuación 16}$$

TABLA XX: PARAMETROS CALCULADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

Parámetro		Rango	Valor calculado
A sed (m <sup>2</sup> )	Área		20
V (m <sup>3</sup> )	volumen		62,50
H (m)	Altura	3 – 4,9	3,13
d sed (m)	diámetro	3-60	5,05
Per (m)	perímetro		15,85

**TOLVA PARA RECOLECCIÓN DE LODOS**

Los barros que se generan durante el proceso de sedimentación se acumulan en la tolva del reactor y gracias a su pendiente estos caen en la canaleta recolectora. Teniendo en cuenta el ángulo de la tolva y el radio de la canaleta se calculó la altura de la tolva que se suma a la altura del sedimentador.

$$h_{tol} = \frac{d_{sed}-d_{ct}}{2} * \tan \alpha \quad \text{Ecuación 17}$$

$$V_{tot} = \frac{\pi h_{tolva}}{3} x (r_{sed}^2 + r_{ct}^2 + r_{ct}^2 x r_{sed}^2) \quad \text{Ecuación 18}$$

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XXI: PARAMETROS CALCULADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TOLVA

Parámetro		Valor calculado
h tol (m)	altura tolva	1,27
Vol tol (m <sup>3</sup> )	volumen tolva	9,07
volumen total (m <sup>3</sup> )	(con 15% de revancha)	82,3

**ZONA DE ENTRADA**

La entrada del efluente al sedimentador es a través de un difusor cilíndrico en el centro, de forma tal que la distribución del efluente sea radial y uniforme, evitando que se provoquen corrientes o altas velocidades. Para el diseño de este, se adoptaron los siguientes valores de bibliografía.

TABLA XXII: PARAMETROS ADOPTADOS PARA EL DISEÑO DE LA ZONA DE ENTRADA

Parámetro		Rango	Valor tomado
v ent (m/s)	velocidad de entrada	0,2-0,4	0,4
Ddif/Dsed	%	15-20	15
h dif (m)	Altura del difusor	1-3,0	1,5
h dif,or	Altura difusor c/ orificios	0,5-1	0,75
d or	diámetros orificios difusor	0,01-0,02	0,02

A partir de estos valores, se calculó la superficie total de los orificios, necesaria para el ingreso del efluente según la velocidad adoptada y el caudal de diseño.

$$A_{tp} = \frac{Q}{v_{ent}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Luego, a partir del diámetro de orificio adoptado, se obtuvo el área de cada orificio y el número total de orificios requeridos.

$$A_{or} = \frac{\pi D_0^2}{4} \tag{Ecuación 20}$$

$$n = \frac{A_{tp}}{A_{or}} \tag{Ecuación 21}$$

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XXIII: VALORES OBTENIDOS PARA EL DISEÑO DE LOS ORIFICIOS DE ENTRADA AL SEDIMENTADOR.

Parámetro		Valor calculado
Atp (m2)	área total de orificios	0,03
a or (m2)	área orificios	0,0003
n or	Número de orificios	90

El diámetro de la tubería central es de 0,76 m y su altura es de 1 m. Los orificios se encuentran dispuestos alrededor de la misma en un sistema de 9 columnas y 10 filas, separados 0,24 m a lo ancho y 0,055 m a lo alto. Se evitó la disposición de orificios en la primera y última parte de alto del sedimentador, ya que los mismos podrían causar cortocircuitos o provocar el arrastre de lodo.

**ZONA DE SALIDA**

El efluente saldrá del sedimentador hacia la canaleta de recolección a través de vertederos triangulares del tipo Thompson evitando de esta forma la re-suspensión de partículas y la divergencia del flujo. Para ello se adoptaron los siguientes parámetros de bibliografía.

TABLA XXIV: VALORES ADOPTADOS DE BIBLIOGRAFÍA PARA EL DISEÑO DE LA ZONA DE SALIDA.

Parámetro		Rango	Valor tomado
v sal (m/s)	velocidad de salida	0,1-0,4	0,25
h canaleta (m)	Altura canaleta	0,2-1	0,5
h v (m)	altura tirante líquido	0,07-0,15	0,07
α °	ángulo del vertedero	45-90	90

Con la velocidad de salida adoptada y el caudal de diseño se comenzó determinando el área de la canaleta de salida.

$$A_c = \frac{Q}{v_{sal}} \tag{Ecuación 22}$$

Luego, se determinó el ancho de la canaleta, adoptando una altura para la misma.

$$a_c = \frac{A_c}{h_c} \tag{Ecuación 23}$$

El caudal de efluente y el ancho de cada uno de los vertederos se calculó según las siguientes ecuaciones.

$$q_v = 1,34 \times h_v^{2,47} \tag{Ecuación 24}$$

$$a_v = 2 \times \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times h_v \tag{Ecuación 25}$$

A partir del caudal obtenido para cada vertedero y el caudal de diseño se calculó el número de vertederos.

$$n = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{q_v} \tag{Ecuación 26}$$

El espacio entre dichos vertederos se calculó considerando que el largo total de la canaleta es igual al perímetro del sedimentador.

$$e_v = \frac{P_{sed} - L_v}{n} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde el largo total de vertederos ( $L_v$ ) es igual al ancho de vertederos por el número total de vertederos. Los valores obtenidos se muestran en la tabla a continuación.

TABLA XXV: RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA ZONA DE SALIDA DEL SEDIMENTADOR.

Parámetro		Valor calculado
A can (m <sup>2</sup> )	área canaleta	0,03
a can (cm)	ancho canaleta	5,79
L <sub>v</sub> (m)	largo total vertederos	1,39
Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	caudal unitario vertederos	6,77
a v (m)	ancho del vertedero	0,23
n	número de vertederos	6
e v	espacio entre vertederos	2,35

Por último, según (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003) la eficiencia de remoción de SST y DBO alcanzada durante la sedimentación primaria depende del tiempo de permanencia y se calcula a partir de la siguiente ecuación,

$$R = \frac{t}{a + b * t} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde t es el tiempo de permanencia; a es una constante empírica que es igual 0,075 para calcular la remoción de SST y 0,018 en el caso de la DBO y b es otra constante empírica que es igual a 0,014 para el cálculo de la remoción de SST y 0,020 para la DBO. Se tiene entonces una remoción del 52,6% de SST y una concentración en el efluente de salida del sedimentador de 112 mg/l. En el caso de la DBO, el porcentaje de remoción es de 31,25% y se tiene una concentración de salida de 177,58 mg/l.

La generación de sólidos se estima a partir de las siguientes ecuaciones,

$$M_{lodo} = Q * SST * \% E \quad \text{Ecuación 29}$$

$$V_{lodo} = \frac{M_{lodo}}{\rho_{lodo} (1 - \% H)} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde M Lodo es la masa de lodos generada por día (Kg/d); Q es el caudal de diseño para la presente unidad (m<sup>3</sup>/d); SST es la concentración de Sólidos Suspendedos Totales (mg/L); %E es la eficiencia estimada de remoción (%); V Lodo es el volumen de lodo generado por día (m<sup>3</sup>/d); ρ Lodo es la densidad del Lodo (Kg/m<sup>3</sup>) y %H es el porcentaje de Humedad (%).

Adoptando una densidad del lodo de 1020 Kg/m<sup>3</sup> y un porcentaje de humedad del 95% acorde a las características de un lodo generado por sedimentación primaria. De manera que los resultados obtenidos son una masa de lodos de 124,14

Kg/d y un caudal de generación de 2,43 m<sup>3</sup> /d. Estos lodos serán enviados al digestor aeróbico existente en la planta de A para su tratamiento.

#### 6.2.4 COMPOSTAJE DE LODOS

Finalmente, se optó por diseñar un sistema de compostaje en hileras para los lodos resultantes del sistema de tratamiento de efluentes diseñado. A continuación, se muestran los valores adoptados y las ecuaciones utilizadas para su diseño. Además, se calcula la aplicabilidad del biosólido final según las concentraciones de ciertos elementos potencialmente tóxicos siguiendo la resolución 410/18.

#### DISEÑO DEL SISTEMA

Se tiene que el volumen de generación de lodos existente es de 4,5 m<sup>3</sup>/mes luego del proceso de digestión y filtrado. A esto debemos sumarle los 2,43 m<sup>3</sup>/d que se generarán a partir de la sedimentación primaria propuesta y considerar según bibliografía (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007) un 90% de reducción de su volumen a partir de los tratamientos existentes (digestión y filtración). Adoptando una densidad de 1,1 m<sup>3</sup>/tn se tiene una generación diaria de 0,198 tn.

Para el diseño de las pilas de compostaje es necesario conocer el porcentaje de N, de C y la Humedad del lodo a compostar. Dado que no se cuenta con estos datos, a los fines de este trabajo estos valores fueron adoptados de (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007) & (Tchobanoglous & Kreith, 2002) quienes analizaron los parámetros para el compostaje de lodos resultantes de plantas de tratamiento. Sin embargo, el porcentaje de sólidos en los lodos fue obtenido del análisis existente proporcionado por la empresa.

Por otro lado, se eligió como agente de carga la poda de árboles, al igual que para el lodo, su caracterización será esencial para poder ajustar los parámetros operativos del compost. Sin embargo, nuevamente a los fines de este trabajo, se adoptaron los valores propuestos por (Andreoli, Von Sperling, & Fernandes, 2007), estos se pueden observar en la tabla a continuación.

TABLA XXVI: PARAMETROS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE.

	T <sub>n</sub> /d	Sólidos (%)	% N	% C
Lodo	0.198	91.8	2.5	26
Agente de carga	0.4851	70	1	50

Según la bibliografía consultada la relación C/N debe estar en el rango de 26 a 31, adoptando una relación C/N de 30 y según los valores que se muestran en la tabla XXVI, se calcula la proporción de agente de carga a utilizar según la siguiente ecuación,

$$Relación\ C/N_{mezcla} = \frac{(\%C_{Lodo}X + \%C_A Y)}{(\%N_{Lodo}X + \%N_A Y)} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde %C<sub>Lodo</sub> es el porcentaje de carbón en el lodo; %C<sub>A</sub> es el porcentaje de carbón en el agente de carga; X es la proporción de lodo e Y la proporción de agente de carga. Según esta, se debe mezclar 1 parte de lodos (en peso) con 2,45 partes de restos de poda o agente de carga. Así, para 0,2 tn/d de lodo se requerirán 0,49 tn/d de poda de árboles. Como la producción de lodos es continua, la cantidad de poda requerida debe estar disponible continuamente. Por lo tanto, se recomienda una evaluación cuidadosa de la disponibilidad de este material.

Por su parte, la humedad debe encontrarse en un rango de 50% a 60% según la bibliografía consultada, su cálculo es según la siguiente ecuación,

$$Humedad_{mezcla} = \frac{(Humedad_{Lodo} * X + Humedad_A * Y)}{(X + Y)} \quad \text{Ecuación 32}$$

Debido al proceso de filtración existente, según los análisis proporcionados por la empresa, se tiene una humedad del 8,2% para el lodo y del 30% para la poda de árboles (según bibliografía), obteniendo así una humedad de la mezcla de 23,7%. Dado que este valor es bajo en comparación con el recomendado por bibliografía, se decide adicionar agua a la mezcla. El volumen de agua existente es calculado según la siguiente ecuación,

$$V_{H2O} = \frac{Masa_{tot\ Mezcla}}{Humedad_{Mezcla}} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde la humedad de la mezcla inicial 23,7% equivale a 76,3% de sólidos o 763 kg de sólidos/m<sup>3</sup> y la masa total de la mezcla es la suma de la masa de barros y la masa de agente de carga (0,69 tn/día), teniendo así un volumen de H<sub>2</sub>O inicial de 0,91 m<sup>3</sup>. El volumen de H<sub>2</sub>O a adicionar se calcula según la siguiente ecuación,

$$Humedad_{mezcla\ f} = \frac{Masa_{tot\ Mezcla}}{V_{H2O} + V_{H2O\ ex}} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde la humedad de la mezcla final es adoptada según bibliografía y es de 50% (o 500 kg sólidos/m<sup>3</sup>), obteniendo de esta forma un volumen de agua extra para agregar de 0,47 m<sup>3</sup>, es decir, medio bin por día.

Por otro lado, para calcular el volumen de la hilera es necesario primero conocer el volumen del material a disponer (la mezcla), este se calcula según la siguiente ecuación para la cual se supone un 30 % de espacio vacío y un peso específico de 1,1.

$$V_{mezcla} = \frac{Masa_{tot\ mezcla} * 1,3}{\delta_{mezcla}} \quad \text{Ecuación 35}$$

Teniendo una masa de compostaje diario de 0,69 ton/d, se tiene un Volumen de mezcla de 0,815 m<sup>3</sup>/d.

Suponiendo una pila triangular de 1 m de altura y 2 m de ancho, se calcula la longitud de la pila según la siguiente ecuación,

$$Longitud = \frac{V_{material}}{h * a} \quad \text{Ecuación 36}$$

Se tiene entonces una pila de  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$  por pila. A partir de esto, se calcula el área requerida permitiendo una circulación lateral de 4.0 m a los costados de cada pila para la circulación de la maquinaria y de 1 metro a lo largo para separación de las mismas,

$$\text{Área}_{pila} = (\text{Longitud} + 1) * (a + 4) \quad \text{Ecuación 37}$$

Se tiene que el área de la pila es de  $9 \text{ m}^2$ . Considerando 15 días como el tiempo requerido para completar el compostaje, el área requerida para 15 pilas será,

$$\text{Área}_{compostaje} = \text{Área}_{pila} * 15 \quad \text{Ecuación 38}$$

Además, se requiere un área adicional para almacenar el producto mientras es madurado/ curado durante 50 días,

$$\text{Área}_{curado} = \text{Área}_{pila} * 50 \quad \text{Ecuación 39}$$

Para poder diseñar la laguna de recolección de lixiviados, es necesario calcular el volumen de lixiviados generados a partir de la descomposición de los lodos y a partir de las precipitaciones del lugar en donde se emplaza la planta de compostaje. En una primera instancia, se calculó el volumen de lixiviados generados en el área de descomposición a partir de la siguiente ecuación,

$$V_{lixiviados\ 1} = \frac{Tn\ Lodo}{día} * 0.028 \frac{m^3}{tn} * 15\ días * 1,5 \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde 1,5 es el factor de seguridad adoptado y  $0.028 \text{ m}^3/\text{Tn}$  es el factor de generación de lixiviados en el compostaje de lodos de origen cloacal (Peralta, et al., s/f). Es importante destacar que para hacer un diseño preciso del sistema de compostaje es necesario realizar ensayos de laboratorio que permitan analizar la degradación de la materia orgánica presente en el lodo y así poder cuantificar correctamente el volumen de lixiviados a generar. Sin embargo, a los fines de este trabajo, se calculó de manera teórica que el volumen de lixiviados a generar debido a la descomposición de los lodos es de  $0,435 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Por otro lado, el volumen de lixiviados generados por las precipitaciones se calculó a partir de la precipitación pluvial de diseño, para la cual se utilizaron los valores obtenidos en las series de registros del sistema meteorológico nacional para el área de localización. Adoptando el valor máximo de la lluvia acumulada anual correspondiente a valores promedio mensual de una serie de 10 años para los meses de operación del relleno (120 mm).

$$V_{lixiviados\ 2} = \text{Á}_{compostaje} * 120 \frac{l}{m^2} * \frac{1,25}{1000} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde 1,25 es el factor de seguridad. Se obtuvo entonces, que el volumen de lixiviados generado a partir de las precipitaciones es de  $2 \text{ m}^3/\text{mes}$ . Y sumado al volumen de lixiviados por descomposición se llega a un volumen total de  $15 \text{ m}^3/\text{mes}$ .

Considerando que se requieren  $0.47 \text{ m}^3$  de agua por día para mejorar la humedad del compost. Se reutilizarán los líquidos lixiviados generados para esto. Para su recolección se tendrá una pileta de hormigón de 1,5 m de profundidad y 3,5 m

de lado, para la cual se calculó un 20% de factor de seguridad. Al área de compostaje entonces, se le suman 15 m<sup>2</sup> correspondientes a la pileta diseñada.

Por último, para el cálculo total del área de la planta de compostaje se asumió un 30% extra para el almacén, oficina, carga y tránsito de camiones y otros,

$$\text{Área}_{total} = (\text{Área}_{compostaje} + \text{Área}_{curado}) 1,3 \quad \text{Ecuación 42}$$

Las dimensiones obtenidas se pueden observar en la tabla a continuación.

Tabla XXVII: Dimensiones del diseño de las pilas diarias de compostaje en metros

Ancho	Alto	Largo	Área pila	Área compostaje	Área curado	Área total
2	1	0.4	10.78	177	431.2	770.77

#### DOSIS ANUAL (DAB) Y DOSIS MÁXIMA DE BIOSÓLIDOS (DMA)

La dosis anual de biosólidos (DAB) que se podrá aplicar como máximo en un año a un cuerpo receptor se calcula en función de la concentración de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) presente en los biosólidos y de los valores de referencia definidos en la tabla de la figura 17. Primero, se analiza el contenido de EPT en los biosólidos a aplicar, luego se calcula la dosis anual de biosólidos a aplicar para cada uno de los EPT según la siguiente ecuación,

$$DAB = \frac{(CAA*1000)}{c} \quad \text{Ecuación 43}$$

Dónde DAB es la Dosis Anual de Biosólidos sobre la base de peso seco (Tn/ha.año); CAA es la Carga Anual de aplicación de EPT para cada compuesto (kg/ha.año), definidos en la Tabla de la figura 19 y C es la Concentración del EPT analizado en el biosólido (mg/kg, en materia seca) obtenidos de los análisis hechos por la empresa de los lodos a disponer.

A continuación, sobre la base en materia seca calculada, se ajusta el valor obtenido considerando el porcentaje de sólidos que poseen los biosólidos a emplear, obteniendo así la Dosis Real de Biosólidos (DRB) según la siguiente ecuación,

$$DRB = \frac{(DAB*100)}{MS} \quad \text{Ecuación 44}$$

Dónde DRB es la Dosis Real de Barros (Tn/ha.año); DAB es la Dosis Anual de Barros (Tn) y MS es el Porcentaje de materia seca en el biosólido (% de sólidos).

La DMA define el periodo en años que se puede aplicar por hectárea en el cuerpo receptor manteniendo la Dosis Anual de Biosólidos (en materia seca DRB) calculada anteriormente con la misma concentración de ETPs, según la siguiente ecuación,

$$DMA = \frac{CMA}{DRB} \quad \text{Ecuación 45}$$

Dónde DMA es la Dosis Máxima de aplicación (años); CMA es la Carga Máxima de Aplicación de ETPs, definidos en la Tabla de la figura 21 (Tn/ha) y DRB es la Dosis Real de Barros (Tn/ha.año).

Tanto la DAB como la DMA se calcularon para cada uno de los ETP que deben ser considerados, a continuación, se muestran los resultados obtenidos.

TABLA XXVIII: RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL DAB Y DMA PARA CADA UNO DE LOS ETPS

	Arsénico	Cadmio	Zinc	Cobre	Cromo total	Mercurio	Níquel	Plomo
Concentración (mg/kg materia seca)	0,28	0,09	0,37	0,11	0,11	<0.005	0,15	0,05
CAA	0,5	0,15	30	12	3	0,1	3	15
DAB (tn/ha.año)	1774	1650,0	80487,8	110000,0	27500,0	-	19411,8	330000,0
% sólidos	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
DRB (Tn/ha.año)	253456	235714	11498258	15714286	3928571	-	2773109	47142857
CMA	1,8	0,5	100	40	10	0,3	10	50
DMA (años)	7,1 E-06	2,1 E-06	8,7 E-06	2,5 E-06	2,5 E-06	-	3,6 E-06	1,1 E-06
DMA (segundos)	224,6	67,1	275,0	80,5	80,5	-	114,0	33,5

## 6.2.5 SISTEMA DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN

A través del sistema de conducción e impulsión, conformado por tuberías y sus respectivos accesorios y válvulas, se transportan los efluentes y el lodo a lo largo de la planta de tratamiento. Este sistema se diseñó de manera tal de asegurar que la pérdida de carga entre las unidades sea mínima, lo cual ayuda a que el proceso sea económicamente más factible, dado que no se incurren en gastos innecesarios en lo que respecta a uso energético.

La impulsión puede ser por acción de la gravedad o mediante la utilización de bombas. En el primer caso, la velocidad del efluente estará determinada por la sección de la tubería y la diferencia de alturas, mientras que, para el caso del bombeo a presión, la velocidad se encuentra dada por la diferencia de presión entre la bomba y la sección de la cañería.

El primer paso para su diseño es identificar los tramos necesarios que conectan cada unidad dentro de la planta, los cuales se muestran en la tabla y el diagrama a continuación.

TABLA XXIX: IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS DE CONDUCCIÓN DENTRO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Proceso	Unidad inicial	Unidad final	Nomenclatura	Método de impulsión
Pretratamiento físico	Cámara de descarga	Rejas	1A	Gravedad
	Cámara de bombeo	Tamiz	1B	Bomba
Pretratamiento Químico	Ecualizador	Tanque Fentón 1	2A	Gravedad
	Tanque Fentón 1	Tanque Fentón 2	2B	Gravedad
	Tanque Fentón 2	Sedimentador	2C	Gravedad
	Sedimentador	Cámara de bombeo	2D	Gravedad
Retorno sensor pH	Ecualizador	Ecualizador	3A	Gravedad
	Tanque Fentón 2	Tanque Fentón 2	3B	Gravedad
Lodos	Sedimentador 1rio	Digestor aerobio	4A	Bomba

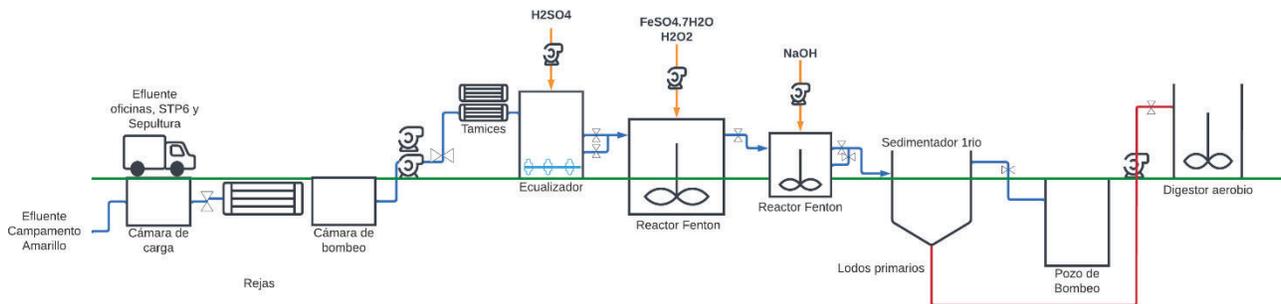


FIGURA 27: ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL EFLUENTE CON UBICACIÓN DE LAS BOMBAS Y NIVEL DE LAS UNIDADES.

Se optó por la instalación de tuberías de PVC cerradas que, según bibliografía, es el mejor material para conducción de aguas residuales. Posee alta resistencia mecánica y química, baja rugosidad hidráulica y por ende menor pérdida de carga, es de fácil instalación, de alta duración y tiene bajo mantenimiento y costo. Además, para minimizar los costos energéticos las cañerías serán lo más cortas posibles y contarán con la menor cantidad de accesorios y cambios de dirección, factores que contribuyen a la pérdida de carga.

Estas cañerías serán seleccionadas de acuerdo con su diámetro nominal, que se corresponde con el diámetro externo, y su diámetro interno. Para el diseño del sistema de cañerías debe tenerse en cuenta la pérdida de carga, ocasionada por la fricción del fluido con el material, y la impulsión otorgada por el sistema de bombeo.

Para el análisis hidráulico del sistema se asume que a lo largo de todas las cañerías se tiene un fluido ideal, es decir que no es viscoso, se desprecia la fricción interna entre las partículas del líquido, es incompresible, siendo la densidad del mismo constante con el tiempo, es irrotacional, es decir que no presenta torbellinos, de flujo estacionario, por lo que la velocidad del fluido en un punto es constante con el tiempo y bajo régimen turbulento, lo que significa que el perfil de velocidades dentro de las conducciones está totalmente desarrollado.

El rango de velocidades recomendado para líquidos poco viscosos en líneas de conducción es de 1,2 - 2,4 m/s y para flujo por gravedad entre 0,15 - 0,3 m/s, con una pendiente mínima del 3 %. En este sentido se adopta 2 m/s para las líneas de conducción por bombeo y 0,15 m/s para aquellos conducidos por gravedad.

### CONDUCCIONES POR GRAVEDAD Y A PRESIÓN

Para tuberías parcialmente llenas existen relaciones trigonométricas que permiten definir el área mojada de la cañería, el perímetro mojado y el radio hidráulico a partir del ángulo formado desde la superficie de la lámina del líquido hasta el centro del tubo y el diámetro de la tubería. Además, se adopta una relación entre el diámetro (D) y la altura de llenado (y) de  $D/y = 0,75$  lo cual implica un ángulo de  $\theta = 120^\circ$ .

$$A_{mojada} = \frac{(\theta - \text{sen}(\theta))D^2}{8} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$P_{mojado} = \frac{\theta D}{2} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$R_{hidráulico} = \left(1 - \frac{\text{sen}(\theta)}{\theta}\right) * \frac{D}{4} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde,  $\theta$  es el ángulo y D es el diámetro de la tubería (m).

Para definir el área mojada se adopta una velocidad de 0,3 m/s en conducciones por gravedad y 1,2 m/s en conducciones a presión y a partir de dicho valor se determina el radio hidráulico y el diámetro de tuberías necesario.

$$A_{mojada} = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde, Q es el caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y v es la velocidad de escurrimiento (m/s) adoptada.

Este cálculo se replica para todas las conducciones por gravedad y sus correspondientes caudales, obteniendo como diámetros de tubería 160 mm y 220 mm.

Por otro lado, en función del radio hidráulico y del diámetro de las tuberías, se calcula la velocidad de escurrimiento en conducciones según la Ecuación de Chez-Manning y se verifica su cumplimiento con las velocidades adoptadas.

$$v = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} I^{1/2} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde, v es la velocidad del fluido (m/s), n es el Coeficiente de Manning (PVC = 0,011),  $R_h$  es el radio hidráulico (mm) e I es la pendiente adoptada (0,3 %).

Para las conducciones a presión, es necesario conocer tanto el diámetro nominal (DN), que depende del material de la tubería, como los diámetros interiores (DI) y exterior (DE), siendo el primero aquel que resulta hidráulicamente aprovechable. El diámetro nominal de las tuberías de PVC es equivalente al diámetro exterior, dicha dimensión es fija y solamente depende del tamaño del caño. Sin embargo, el diámetro interior varía en función del diámetro nominal y la presión a la que vayamos a someter a la tubería. Es por lo que, para una tubería con un determinado diámetro nominal, existen diversas dimensiones de diámetro interior.

El proveedor Tuboforte Argentina ofrece el modelo Fortenor Potable Clase 6 - Junta Elástica dentro del cual ofrece las tuberías de DN 50 mm, 90 mm y 110 mm que se necesitan. En el Anexo 4 se exhibe la ficha técnica de los productos.

### PERDIDAS DE CARGA

La conducción del efluente dentro del sistema de cañerías trae aparejada una pérdida de carga debido a la fuerza de fricción, generada por la rugosidad propia de las tuberías, los cambios de diámetro y dirección del sistema y las diferentes alturas. Todo esto implica que el fluido requiera una mayor fuerza para ser impulsado a través de las diferentes unidades del sistema.

La pérdida de carga se relaciona proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad del fluido, por lo que debe ser considerada dentro de los cálculos de conducciones excepto cuando el fluido tiene una velocidad muy baja. En línea con esto, las pérdidas de carga localizadas se desprecian en aquellos casos donde la gravedad es la fuerza conductora.

La ecuación de Darcy-Weisbach permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro de una tubería a presión llena.

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} = f \frac{8LQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde,  $h_f$  es la pérdida de carga por fricción (m);  $f$  es el factor de fricción Darcy;  $L$  es la longitud de la tubería (m);  $D$  es el diámetro de la tubería (m);  $v$  es la velocidad de escurrimiento (m/s);  $g$  la aceleración por gravedad (m/s<sup>2</sup>) y  $Q$  es el caudal (m<sup>3</sup>/s).

Para calcular la pérdida de carga es necesario primero determinar el factor de fricción de Darcy ( $f$ ), este se puede determinar a partir del factor de fricción y la rugosidad relativa para valores de Reynolds  $> 106$ , que es cuando el factor de fricción se vuelve independiente del número de Reynolds ( $Re$ ). Este se determina mediante la siguiente ecuación, adoptando valores para un fluido ideal a 20°C.

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido (998,29 kg/m<sup>3</sup>) y  $\mu$  la viscosidad cinemática del fluido (1,003x10<sup>-6</sup> kg/ms). Teniendo valores del Reynolds entre 6,52x10<sup>6</sup> y 9,71x10<sup>7</sup>, el factor de fricción de Darcy se calcula según la siguiente ecuación,

$$f = 0,026 \frac{k^{0,24}}{D} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde  $k$  es la rugosidad absoluta (PVC: 0,0015 mm) y  $D$  es el diámetro de la tubería (mm).

Por último, se calcula la pérdida de carga debido a la presencia de accesorios en cada uno de los tramos, a partir de la siguiente ecuación.

$$hf_{Acc} = K_{Acc} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde  $hf_{Acc}$  es la pérdida de carga en accesorios (m);  $K_{Acc}$  es la constante del accesorio;  $v$  es la velocidad del fluido (m/s) y  $g$  la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>). Se detallan en el Anexo 5 los accesorios que se instalan en cada tramo y sus correspondientes constantes.

## SISTEMA DE BOMBEO

Para que el efluente recorra el tren de tratamiento mediante gravedad, primero será necesario elevar la altura del mismo a través de un sistema de bombeo. Las bombas centrífugas tienen una amplia aplicación para el bombeo de aguas residuales ya que incrementan la energía mecánica de un fluido incompresible generando altas velocidades de rotación que convierten la energía cinética resultante del líquido en energía de presión.

Serán necesarios dos sistemas de bombeo, uno que impulsará el efluente desde la cámara de bombeo hacia el tamiz y otro que impulsará los lodos desde el sedimentador primario hacia el digestor de lodos. Para elegir los sistemas adecuados, se deberá tener en cuenta que, en una bomba el líquido ingresa por una conexión de succión y sale por el punto de descarga, llamados 1 y 2 respectivamente. En función de ello, y mediante la aplicación de la ecuación de Bernoulli, se determina la carga que debe desarrollar la bomba.

$$\frac{\eta W_p}{g} = \left( \frac{P_1}{g\rho} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{g\rho} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right) + h_f \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde  $\eta$  es la eficiencia de la bomba;  $W_p$  es el trabajo desarrollado por la bomba (J);  $g$  es la fuerza de gravedad (m/s<sup>2</sup>);  $p$  es la presión (kg/ms<sup>2</sup>);  $\rho$  es la densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>);  $\Delta Z$  es la diferencia de altura (m);  $v$  es la velocidad del fluido (m/s) y  $h_f$  es la pérdida de carga (m).

Al tratarse de una bomba de carga positiva, ubicada a la altura del punto de descarga del efluente, se desprecia la diferencia de velocidades y de presiones entre los puntos 1 y 2, ya que tanto  $v_1$  como  $v_2$  son iguales a 0 y  $p_1$  y  $p_2$  son iguales a la presión atmosférica. De esta forma el trabajo desarrollado por la bomba se reduce a la sumatoria de la diferencia de altura ( $\Delta Z$ ) y la pérdida de carga ( $h_f$ ) calculada anteriormente.

$$H_{Dis} = \Delta Z + h_f + h_{f_{Acc}} \quad \text{Ecuación 56}$$

La eficiencia de la bomba se adopta en un 50%. Mientras que, la potencia requerida por la bomba se puede expresar según la siguiente ecuación,

$$p = \frac{\rho * Q * g * H}{\eta} \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde  $p$  es la potencia de la bomba (W);  $\rho$  es la densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $Q$  es el caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $g$  es la fuerza de gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ );  $H$  es la altura de la bomba (m) y  $\eta$  es la eficiencia de la bomba.

En la tabla a continuación se detallan los requerimientos de las bombas a instalar y el modelo elegido del proveedor Grundfos. En el Anexo 6 se encuentran las fichas técnicas de las bombas seleccionadas. En el caso del tramo 1B, se instalarán dos bombas en paralelo a la salida de la cámara de bombeo que permitan continuar con la operación de la planta en caso de que una falle o en caso de que haya un pico de caudal que esta permita descargar el efluente sin rebalsar la cámara.

Tabla XXX: Requisitos de las bombas a instalar y modelo seleccionado del proveedor grundfos.

Tramo	H bomba	Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potencia (HP)	Modelo
1B	4,12	2.59E-04	0.02	SLV.80.80 .11.4. 50D.C
4A	6.40	1.17E-06	0.0002	DMH 100-10 B-PVC/V/C-X-E1U3U3XEMAG

Por último, el mismo proveedor suministra las bombas dosificadoras de reactivos modelo DDA 7.5-16 para la inyección de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , peróxido de hidrógeno y  $\text{NaOH}$  en las diferentes etapas de tratamiento según corresponda. Su ficha técnica se puede ver en el Anexo 6.

## CAPÍTULO 7: DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD

Como segunda alternativa para dar solución a la acumulación de lodos con fenoles en la mina, se propuso la construcción de un relleno sanitario de seguridad que permita su disposición final controlada y el cumplimiento de la ley nacional 24.051 de Residuos Peligrosos.

Un relleno sanitario de seguridad es un sitio para la disposición final de residuos peligrosos no líquidos, no procesables, no reciclables, no combustibles o que sean residuales de otros procesos de tratamiento, los cuales mantienen sus características de peligrosidad. Debe contar con medidas de control y seguridad para prevenir la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población. Para ello su diseño se basa en una combinación de técnicas de ingeniería y geología que permiten controlar la acumulación de gases, lixiviados y la filtración de contaminantes al suelo y aguas subterráneas, a través de sistemas de impermeabilización, recolección y drenaje de lixiviados, así como también de sistemas de monitoreo y detección de fugas de gases y líquidos, con controles de corrida, escorrentía y dispersión del viento. Además, debe contar con un programa que asegure la calidad de la construcción y durante la operación, se debe cumplir con los requisitos de inspección, monitoreo y respuesta ante fugas.

Estos rellenos deben ser planificados cuidadosamente, previamente evaluado el terreno donde serán construidos y diseñados teniendo en cuenta las características del suelo, la topografía, la hidrología, geología y la cercanía a poblaciones,

áreas protegidas, cuerpos de agua y otros ecosistemas vulnerables, cumpliendo siempre con las regulaciones y normas locales, así como las nacionales e internacionales.

Dado que son sitios de disposición permanente, están sujetos a requisitos de cierre y cuidados posteriores al cierre. Estos incluyen la instalación y mantenimiento de una cubierta final para evitar la dispersión del viento, continuar con la operación del sistema de recolección y remoción de lixiviados hasta que ya no se detecten, realizar el mantenimiento y monitoreo del sistema de detección de fugas, el mantenimiento del monitoreo de aguas subterráneas y la prevención y control de la escorrentía de aguas pluviales para evitar la migración de componentes peligrosos durante al menos una tormenta de 25 años (EPA U. , Introduction to Land Disposal Units, 2005); (Decreto 831, 1993).

### 7.1 REQUISITOS MÍNIMOS - DECRETO 831/93

A continuación, se detallarán los estándares mínimos de diseño y gestión que establece el (Decreto 831, 1993) para rellenos sanitarios de seguridad.

---

#### 7.1.1 RESTRICCIONES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

Para la disposición final de residuos peligrosos en rellenos sanitarios de seguridad, tanto los residuos que no requieren pretratamiento como los tratados, deben cumplir con el límite de concentración de líquidos libres, que se verifica realizando la prueba de 'Filtro de Pintura'.

No podrán disponerse sin tratamiento previo aquellos residuos que sean productos o mezcla de productos con propiedades químicas o fisicoquímicas que le permitan penetrar y difundirse a través de las membranas sintéticas, los suelos impermeables y demás materiales de contención. Tampoco podrán disponerse sin tratamiento residuos, o mezcla de ellos, que puedan derramarse a temperatura ambiente, que tengan alta solubilidad en agua (mayor del 20% en peso) o que presenten un Flash Point inferior a 60°C. Como así tampoco, residuos que tengan contaminantes que puedan ser fácilmente transportados por el aire o que puedan ser altamente solubles en agua, salvo que sean especialmente cubiertos por componentes adecuados para que al reaccionar in situ reduzcan su solubilidad.

Asimismo, no podrán disponerse sin tratamiento previo, compuestos orgánicos halogenados y todos sus derivados y compuestos orgánicos no halogenados peligrosos o potencialmente peligrosos, caracterizados básicamente por compuestos cíclicos, heterocíclicos, aromáticos, polinucleares y/o de cadena no saturada. El tratamiento previo necesario tiene por finalidad transformar física, química o biológicamente el residuo para minimizar los riesgos de manipuleo y disposición final.

---

#### 7.1.2 REQUISITOS PARA SU DISEÑO

Es requisito mínimo que estas instalaciones cuenten con un sistema de impermeabilización doble, el cual se compone de dos revestimientos de materiales de baja permeabilidad, con un sistema de detección, colección y remoción (SDCR)

de lixiviados entre ambos revestimientos y un sistema de colección y remoción (SCR) por encima del revestimiento superior. Estos sistemas actúan de manera integrada a fin de prevenir la migración de líquidos y facilitar su colección y remoción.

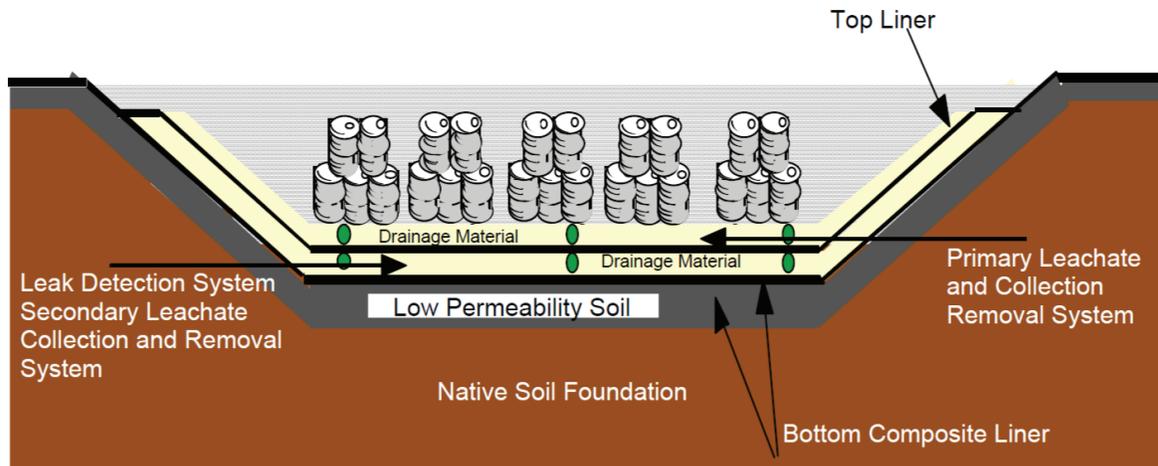


FIGURA 28: ILUSTRACIÓN DE UN SISTEMA SCR Y SDCR DE UN RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD (EPA, 2005).

Se identifican dos sistemas dobles de impermeabilización que son aceptados, por un lado, pueden ser dos revestimientos de geomembranas con un espesor mínimo de 30.000 (0,76 mm) cada una. En el caso de que la geomembrana se halle expuesta durante la etapa constructiva por un plazo de hasta tres meses, el espesor debe ser igual o mayor a 45.000 (1,15 mm). Además, la (EPA U. , Introduction to Land Disposal Units, 2005) indica que espesores de 60.000 a 100.000 (1,52 a 2,54 mm) podrían ser exigidos para resistir diferentes condiciones. En cualquiera de los casos, el diseño de ingeniería debe contemplar que algunos materiales sintéticos podrían necesitar mayores espesores para prevenir fallas o para ajustarse a los requerimientos de soldadura entre paños de las geomembranas. Así como también será necesario verificar la compatibilidad química de los materiales geosintéticos con los residuos a depositar empleando el EPA Method 9090. Por otro lado, el revestimiento inferior que sustituye a la segunda geomembrana puede estar conformado por suelo de baja permeabilidad. El espesor del suelo, que actúa como segunda capa impermeable, depende del sitio y de las condiciones específicas de diseño. Sin embargo, no debería ser inferior a 90 cm con un KF menor o igual a  $1 \times 10 \text{ cm/s}$ . A su vez, la membrana superior tiene que cumplir las mismas recomendaciones mínimas en cuanto a espesor y compatibilidad química que se mencionaron para los revestimientos de geomembranas.

En todos los casos los revestimientos deben estar diseñados, construidos e instalados de forma tal de impedir cualquier migración de residuos fuera del depósito hacia el subsuelo adyacente, hacia el agua subterránea o hacia aguas superficiales en cualquier momento de la vida del sitio, incluyendo el período de cierre. Para ello, deben estar construidos con materiales que posean propiedades de resistencia química y la suficiente resistencia mecánica y espesor para evitar fallas debidas a los gradientes de presión, incluyendo cargas hidrostáticas y cargas hidrogeológicas externas. Además, deben resistir el contacto físico con los residuos o lixiviados a los cuales estarán expuestos; a las condiciones climáticas; a los esfuerzos de instalación y a las condiciones originadas por la operatoria diaria. Deben ser instalados sobre una fundación

o base capaz de proveer soporte al revestimiento y resistencia a los gradientes de presión que pudieran actuar por encima y por debajo del mismo. Con el fin de evitar su colapso ocasionado por asentamiento, compresión o subpresión.

En cuanto a las capas drenantes (SDCR y SCR) estas deben estar construidas por materiales que sean químicamente resistentes a los residuos depositados y al lixiviado que generen. Deben tener suficiente resistencia y espesor para evitar el colapso bajo presiones ejercidas por los residuos depositados, los materiales de cobertura y por cualquier equipo empleado durante la operatoria. Deben ser diseñadas y operadas para trabajar sin obturaciones. Además, de ser aptas para coleccionar y remover rápidamente líquidos que ingresen a los sistemas. En caso de utilizarse suelos de alta permeabilidad como capa drenante los mismos no deben dañar las geomembranas en el caso que estas estén en contacto directo con dichos suelos. La capa drenante debe ser físicamente compatible con los materiales de transición a fin de prevenir cualquier potencial migración del material de transición hacia la capa drenante.

La cobertura superior es el componente final en la construcción de un relleno sanitario de seguridad, constituye la cubierta protectora final de los residuos depositados una vez que el relleno ha sido completado. Debe ser diseñada para minimizar la infiltración de aguas pluviales, por tanto, minimizar la migración de líquidos y la formación de lixiviados. Se debe diseñar y construir una cobertura impuesta por un sistema multicapa. En general este sistema debe incluir (desde arriba hacia abajo) una capa de suelo vegetal que permita el crecimiento de vegetación, favoreciendo la evapotranspiración y evitando la erosión, una capa filtro para evitar la obstrucción con material de la capa drenante subyacente, una capa drenante, una capa compuesta por dos materiales de baja permeabilidad, como por ejemplo una geomembrana (de espesor no inferior a 20.000 es decir 0,51 mm.) más una capa de suelo de baja permeabilidad. Y, por último, una capa de suelo para corrección y emparejamiento de la superficie de los residuos. Esto se completa con pendientes adecuadas para minimizar la infiltración y dirigir la escorrentía superficial alejando las aguas pluviales hacia los colectores perimetrales del relleno.

## 7.2 ESTABILIZACIÓN/SOLIDIFICACIÓN

Como se mencionó anteriormente, hay ciertas características que hacen que los residuos peligrosos requieran pasar por un tratamiento previo a su disposición final. Una de ellas es la lixiviabilidad, la cual describe la capacidad de las sustancias peligrosas contenidas en el residuo para disolverse y ser arrastradas por la lluvia o las aguas que fluyen contaminando el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales. Estos líquidos pueden contener componentes nocivos que alcancen concentraciones tóxicas, como los compuestos fenólicos (EPA U. , A Citizen's Guide to Solidification and Stabilization, 2012).

El tratamiento previo es cualquier método, técnica o proceso físico, químico, térmico o biológico, diseñado para cambiar la composición del residuo peligroso o modificar sus propiedades físicas, químicas o biológicas de modo de transformarlo en no peligroso, menos peligroso o hacerlo seguro para el transporte, almacenamiento o disposición final (Decreto 831, 1993).

La solidificación y la estabilización (S/S por sus siglas en inglés) incluyen técnicas que minimizan o restringen los peligros potenciales asociados con la liberación de sustancias tóxicas de residuos peligrosos, como lodos, metales pesados y compuestos orgánicos (EPA U. , A Citizen's Guide to Solidification and Stabilization, 2012). Generalmente, estas técnicas no eliminan las sustancias nocivas de los residuos; sin embargo, restringen la filtración de contaminantes al ambiente para evitar sus posibles efectos en la salud y el ambiente.

En la solidificación, los materiales de residuos peligrosos quedan atrapados o encapsulados en un bloque sólido o estructura de un material conocido como agente solidificante o aglutinante. Hay dos formas comunes, microencapsulación y macroencapsulación, refiriéndose a la encapsulación de partículas finas de residuos y grandes cantidades de residuos, respectivamente (Conner & Hoeffner, 2010). Con esta técnica no ocurre ninguna reacción química entre los residuos y los reactivos de solidificación y los residuos están unidos a la estructura rígida del agente solidificante. Sin embargo, en la estabilización, las interacciones químicas entre los materiales del residuo y el agente aglutinante restringen la liberación de residuos en el entorno limitando la solubilidad de los contaminantes, es decir, el residuo es cambiado a una forma químicamente más estable (EPA U. , Introduction to Land Disposal Units, 2005).

---

### 7.2.3 SISTEMA S/S CON CEMENTO Y CARBÓN ACTIVADO

El uso de cemento portland es una técnica convencional comúnmente utilizada en la solidificación y estabilización. En esta, el material compuesto principalmente por óxidos de calcio y sílice promueve la fijación de sustancias peligrosas en la matriz de cemento rígida y mejora la baja permeabilidad y porosidad para limitar la lixiviación de sustancias tóxicas. Además, ofrece ventajas como bajo costo de procesamiento, estabilidad física y química, buena resistencia al impacto y a la compresión y baja biodegradabilidad. Con esta técnica se puede tratar eficazmente metales pesados inorgánicos como Zn, Pb, As, etc. (Salihoglu & Pinarli, 2008) y orgánicos (Xin, Chai, & Zhao, 2016).

Sin embargo, en comparación con los metales pesados, los compuestos orgánicos pueden causar efectos perjudiciales en las propiedades del cemento haciendo más difícil su estabilización. El fenol como compuesto orgánico altamente soluble, lixivía debido al bajo pKa (<12) de estos sistemas. (Vipulanandan, 1996) utilizó esta técnica en suelos contaminados con fenoles y concluyó que el 70% del fenol contenido en el suelo lixivió durante las pruebas realizadas. A su vez, los resultados de las pruebas llevadas a cabo por la American Nuclear Society indicaron que no debe utilizarse solo cemento como estabilizador de fenoles (American, 1986). No obstante, la eficiencia del tratamiento puede mejorarse mediante adsorbentes, que se incorporan como aditivos en las mezclas de cemento o se usan como pretratamiento antes de la estabilización convencional a base de cemento (Montgomery, Sollars, & Perry, 1991). Se han investigado varios materiales para su uso como adsorbentes, incluidos óxidos metálicos, arcillas, materiales naturales (como turba, zeolitas naturales y vermiculita), materiales sintéticos (como zeolitas, cenizas y polímeros orgánicos) y carbón activado (CA). Entre estos, el CA es considerado como el material más apropiado para la inmovilización de ciertos compuestos orgánicos y ha demostrado ser uno de los aditivos más efectivos para la contención química de contaminantes orgánicos en residuos solidificados (Rho, y otros, 2001).

El carbón activado se produce a partir de la activación física o química del carbón o del carbón obtenido de la pirólisis de materiales de base lignocelulósica con alto contenido de carbono. El tratamiento fisicoquímico genera áreas superficiales, típicamente en el rango de 500 1500 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, que facilitan la adsorción de grandes cantidades de materia orgánica en una pequeña cantidad de carbono. Además, su carga eléctrica es capaz de adsorber una amplia gama de materiales peligrosos como metales pesados y sustancias químicas como fenoles y sus derivados. En línea con esto, cuando es utilizado en sistemas de estabilización a base de cemento es altamente eficiente en la inmovilización de fenoles (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

(Arafat, Hebatpuria, & Rho, 1999) informaron que el uso de CA en polvo en el proceso de estabilización redujo el potencial de lixiviación del fenol en un 600% en comparación con el proceso en el que no se utilizó. Además, cantidades muy bajas de CA añadidas a la mezcla (1% m/m de los suelos) absorbieron eficientemente la mayor parte del fenol en los residuos, quedando encapsulado en el cemento y minimizando así la posibilidad de lixiviación de este componente. Con respecto a las características cinéticas, encontraron que el CA adsorbe rápidamente el fenol cuando se encuentra en forma de polvo, lo que implica que se puede usar un proceso simple de mezcla de un solo paso para residuo, cemento y carbón.

(Liu, Nie, Zeng, & Su, 2013) investigó el comportamiento de lixiviación a largo plazo del fenol en residuos peligrosos estabilizados durante 28 días con diferentes cantidades de carbón activado (CA) utilizando ácido inorgánico sintético (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HNO<sub>3</sub> = 2:1, pH = 3,2), buffer de ácido acético (HAc/NaAc, pH = 4,93) y agua desionizada (pH = 7,00) como lixiviantes para simular la lixiviación en tres escenarios de exposición: precipitación ácida, disposición conjunta con residuos del tipo doméstico y precipitación neutra. Las proporciones adsorbidas de fenol en muestras que contenían 2% de CA en estos tres escenarios fueron 91,0%, 89,2% y 86,9%, respectivamente.

Llegaron a la conclusión de que la adición de CA mejoró la inmovilización de fenol en los residuos peligrosos estabilizados con cemento y la proporción de lixiviación disminuyó a medida que aumentaba la cantidad de CA agregado. Sin embargo, la adición de CA aumentó también la porosidad total de las matrices de las muestras y el área de superficie específica de los productos obtenidos, lo que aflojó los cuerpos solidificados y presentó riesgos de corrosión para el lixiviado aumentando la lixiviación de fenol. Por lo tanto, la cantidad óptima de CA añadido fue del 2% en función del equilibrio entre la adsorción de fenol y la modificación de la estructura de los poros.

La relación de lixiviación acumulada en el escenario de eliminación conjunta con residuos del tipo domésticos es el más alto de los tres escenarios debido a la ionización inadecuada de HAc en la solución buffer de HAc-NaAc. Esto resultaría en una disociación gradual del HAc, que sería corrosivo para la matriz calcárea de los productos obtenidos. Entonces concluyeron que los productos de estabilización con cemento/CA que contienen fenol deben enviarse a disposición final en rellenos sanitarios de seguridad en lugar de rellenos que contengan RSU.

### 7.3 MEMORIA DESCRIPTIVA

A continuación, se detallará los puntos a tener en cuenta para el diseño, emplazamiento y desarrollo del relleno sanitario de seguridad (RS). Entre estos, se profundizará en la ubicación seleccionada para la construcción, el pretratamiento seleccionado, así como también los materiales y dimensiones del mismo y los métodos de detección y recolección de lixiviados y gases. Además, se mencionarán los pasos a seguir durante su construcción, operación, cierre y post cierre.

---

### 7.3.1 UBICACIÓN

En la selección de la ubicación para un relleno sanitario de seguridad (RS) se debe considerar una variedad de factores de ingeniería, ambientales, regulatorios y económicos. Para ello se deben realizar una evaluación detallada del sitio, el ambiente y los costos antes de tomar la decisión (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

Es necesario realizar perforaciones para caracterizar las condiciones geológicas e hidrogeológicas alrededor del sitio y así recopilar información sobre el suelo, las rocas y las aguas subterráneas e identificar cualquier peligro potencial previsible. Es importante también, determinar el pH del suelo, su capacidad de intercambio catiónico y actividad microbiana para evaluar su capacidad para atenuar los componentes peligrosos. Además, se deben determinar las profundidades del nivel freático y los niveles de agua piezométricos en lechos rocosos/acuíferos confinados y estudiar el movimiento de las aguas subterráneas (O'Leary & Tchobanoglous, 2002). A su vez, se debería realizar un análisis detallado de los efectos ambientales directos e indirectos que resultarán del RS y las actividades involucradas durante su construcción, operación y mantenimiento (Williams, 2005).

Los datos y resultados obtenidos de los análisis realizados y de la evaluación ambiental deberán ser considerados con respecto a los criterios de selección del sitio para decidir sobre la idoneidad del lugar. En general, la selección del sitio se basa en los siguientes criterios de ingeniería, ambientales y económicos (O'Leary & Tchobanoglous, 2002):

- Debe tener capacidad suficiente para contener la cantidad de residuos peligrosos que se generan durante un largo período de tiempo.
- Debe estar alejado de las áreas pobladas para evitar riesgos a la salud pública y en su defecto asegurarse que los gases emitidos no vayan en la dirección de la población más cercana.
- Es preferible que esté cerca del punto de generación de residuos peligrosos para minimizar los costos y riesgos de transporte.
- Debe ser de fácil acceso a través de medios de transporte comunes.
- La superficie/suelo debajo debe ser impermeable o de baja permeabilidad.
- Las condiciones climáticas en el sitio no deben ser severas.
- El sitio no debe tener contacto con aguas superficiales o subterráneas.

Es importante señalar que los criterios mencionados anteriormente no son exhaustivos. Varios otros criterios importantes, como los costos sociales, ambientales y de salud, y los factores políticos y estéticos relacionados con el relleno, también deben considerarse al seleccionar el sitio más adecuado.

En línea con esto, se decidió que el sitio en donde se emplazaría el RS será el predio logístico que tiene la empresa en las cercanías del pueblo de Piran, donde se encuentra el ingreso a la mina. Si bien esto implica que los residuos deberán ser transportados aproximadamente 150 km desde el punto de generación hasta el punto de su disposición final, aumentando así los costos de logística y riesgos durante su transporte, esta ubicación facilitará el control del relleno luego del cierre de la mina y las condiciones climáticas son mejores en términos de cantidad de nieve, viento e irradiación solar lo que facilitará también la operación del mismo.

Sin embargo, aunque se encuentre por fuera del alcance de este trabajo, para hacer un análisis exhaustivo y completo de la selección del sitio, como bien se mencionó, sería necesario realizar estudios del suelo, el agua y la biota del lugar que permitan analizar en detalle los riesgos asociados a su emplazamiento en ese sitio. Los sondeos deberían ser realizados en las áreas útiles del sitio preseleccionados cuya ubicación, profundidad y cantidad sería en función de la extensión y ubicación de las zonas potencialmente aptas. Entonces la ubicación no solo contemplaría el sitio probable de ubicación del RS propiamente dicho sino otros puntos dentro del predio operacional. Efectuando también sondeos a, como mínimo 100 metros hacia afuera de los límites de las áreas operativas del RS. Además, los sondeos deberían tener una profundidad entre 40 y 15 metros, extrayendo muestras cada 0,5 mts o cambio litológico. Se determinaría el número de golpes de penetración, la caracterización litológica y los niveles estáticos de capa freática y acuíferos. Así como la estratigrafía del suelo humedad natural, parámetros de Atterberg, porcentaje de finos, ensayos de permeabilidad en laboratorio y los coeficientes de corte y cohesión.

A los fines de este trabajo, para seleccionar la posible localización del relleno se tuvieron en cuenta la dirección de los vientos predominantes y el mapa hidrológico de la zona (Anexo 7) en la figura a continuación se puede observar la ubicación elegida.



FIGURA 29: UBICACIÓN SELECCIONADA PARA LA IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO DE RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD.

### 7.3.2 PRETRATAMIENTO

Como bien se mencionó, es necesario realizar un pretratamiento a los lodos previo a su disposición final en el RS para cumplir con el (Decreto 831, 1993) y disminuir así la generación de lixiviado en su disposición final. En línea con esto, se decidió utilizar la técnica de estabilización/solidificación de los lodos con cemento y carbón activado (CA). La mezcla y curado se realizará en el sitio donde se emplazará el RS permitiendo de esta forma mejorar la logística de operación y transporte de los residuos. A su vez, se reutilizarán los líquidos lixiviados recolectados del relleno para la preparación de cemento. De esta forma no se generaran residuos durante la operación del relleno, se ahorrarán costos de tratamiento y se disminuirá el consumo de agua del proceso.

Según los datos proporcionados por la empresa, se generan  $4,5 \text{ m}^3$  de lodos por mes y estos tienen una densidad de  $1.100 \text{ kg/m}^3$ . Además, como se mencionó previamente, desde el 2020 se están acopiando estos lodos en la mina, por lo que se cuenta con  $216 \text{ m}^3$  que serán tratados y enviados a disposición final durante la operación de los primeros años del relleno. Mezclar estos lodos acopiados con lodos frescos recién generados permitirá disponer un lodo más estabilizado en el relleno trayendo beneficios en la operación.

Las cantidades a agregar de cemento y CA, así como su densidad final, deberán ser analizadas con ensayos de laboratorio ya que la matriz de residuo en la que se encuentran los fenoles podría interferir en la adsorción con carbón activado y la solidificación del producto final. Además, será necesario realizar pruebas de toxicidad por lixiviación, análisis de porosidad, de las propiedades superficiales, caracterización estructural química y determinación elemental y composicional del producto final.

Sin embargo, en línea con el alcance de este trabajo, se adoptarán las proporciones de CA y cemento indicadas por (Liu, Nie, Zeng, & Su, 2013). Se mezclará cada tonelada de lodo a disponer con  $0,02 \text{ tn}$  de CA ( $2 \% \text{ m/m}$ ). Luego a la mezcla obtenida se le agregará  $0,51 \text{ tn}$  de cemento (ratio  $0,5 \text{ cemento/residuo}$ ) con una proporción de  $0,4 \text{ agua/cemento}$ . La matriz de cemento / lodo / carbón activado se dejará curar por 28 días en moldes (Liu, Nie, Zeng, & Su, 2013); (Pereira Vilela, y otros, 2020); (Malviya & Chaudhary, 2006). Como resultado se obtendrán  $1,53 \text{ tn}$  de residuo estabilizado y solidificado, a disponer por cada tonelada de lodo generado. Adoptando una densidad del producto obtenido de  $1750 \text{ kg/m}^3$  (Malviya & Chaudhary, 2006) se tiene como resultado que se dispondrán  $0,9 \text{ m}^3$  de lodos estabilizados con CA y cemento por  $\text{tn}$  de lodo generada.

Como se mencionó anteriormente se tienen  $216 \text{ m}^3$  de lodos acumulados a disponer en los primeros dos años del relleno sanitario. Esto sumado a la generación mensual promedio que se tiene, resulta en  $162 \text{ m}^3$  a disponer en un año. Como se verá más adelante, dado que el volumen de lodos a disponer es chico, se decidió que la operación del relleno sea durante los meses de menor lluvia para disminuir el riesgo de generación de lixiviados y los costos de operación. Por este motivo, los  $162 \text{ m}^3$  de lodos generados anualmente se dispondrán en un período de 6 meses que van de abril a

octubre. Resultando en 24.3 m<sup>3</sup> de residuo estabilizado con CA y cemento por mes. Además, la operación será en turnos de 6x2 de 8 h de trabajo en horario central, que irán de lunes a lunes, permitiendo así acompañar la operación de la mina durante estos meses.

Las mezclas y el proceso de curado se realizarán en batch en un galpón cerrado y con contención ubicado en el predio de operación del RS. Esto permitirá contener cualquier tipo de derrame que pudiera ocurrir y proteger los lodos y el producto solidificado de las condiciones climáticas ayudando en su proceso de curado.

Para realizar la mezcla del lodo seco con el carbón activado se contará con un mezclador tipo batch de cintas helicoidales de la empresa MYV Mixing (Anexo 8). El cual puede utilizarse para mezclas de polvo con líquido y polvo con sólidos. Permite mezclar el material rápidamente y se caracteriza por un alto efecto de mezcla, gran productividad y una tasa de falla muy baja. El modelo elegido es el MH-3 que tiene una capacidad de 200 L, un tiempo de mezcla entre 15 y 60 minutos y una potencia de 3 HP.

El producto obtenido se mezclará con cemento portland utilizando una mezcladora de cemento eléctrica marca KLD, modelo KLD1951 con capacidad de 200 l y una potencia de 900 W. Se dejará curando durante 28 días en un área de secado, en moldes con forma de cubo con 0,5m de alto, largo y ancho. Resultando en una generación mensual de 195 cubos a disponer. Como bien se mencionó, el propósito del área de curado es proporcionar condiciones controladas para que la mezcla de residuos y cemento se cure y adquiera resistencia antes de su disposición final.

---

### 7.3.3 TIPO DE DISPOSICIÓN Y VOLUMEN

Los residuos se dispondrán en el relleno sanitario de seguridad utilizando el método de zanja, el cual es el más común y se basa en la disposición por debajo del nivel del suelo, por ejemplo, en una depresión natural o excavada donde el nivel freático es bajo (Pazoki & Ghasemzadeh, 2020). En particular, los residuos peligrosos suelen colocarse dentro de zanjas/celdas individuales sobre el área de relleno sanitario activo. Las dimensiones de las celdas pueden variar dependiendo de la cantidad, tamaño y características del residuo a disponer y sus lados suelen estar inclinados en una proporción de 2:1 a 3:1 (O'Leary & Tchobanoglous, 2002).

La capacidad que tendrá el RS es una consideración de diseño importante. Factores a tener en cuenta serán el volumen y/o cantidad esperada de residuos a disponer, teniendo en cuenta las tasas de generación actuales y futuras, su densidad, la cantidad de material de cobertura a utilizar, el volumen ocupado por el sistema de revestimiento y el número de elevaciones a realizar (Williams, 2005).

El RS estará conformado por módulos, los cuales estarán subdivididos en celdas. La configuración modular se repetirá secuencialmente a medida que avance la operación del relleno, repitiéndose cada módulo con las mismas características que el anterior. Las celdas serán completadas periódicamente hasta obtener un módulo completo, conformando recintos cerrados por terraplenes y bermas. Estas últimas son divisiones longitudinales entre las celdas y son construidas con el mismo material arcilloso e impermeabilización que el fondo de la celda.

El producto solidificado se colocará verticalmente en las celdas y se cubrirá diariamente, al final de cada jornada laboral, con una geomembrana de cobertura para evitar la infiltración de agua o la liberación de residuos y/o sustancias peligrosas. Además, se utilizará una cubierta intermedia en aquellas celdas que estén llenas o si se espera que el sitio esté inactivo por un período prolongado. Una vez que se llenan todas las celdas dentro del área del módulo activo, la capa completa de celdas (lo que se conoce como elevación) se podrá apilar con otra capa de celdas para crear una serie de elevaciones (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

El módulo del RS tendrá las siguientes dimensiones de diseño: 15 m por 18 m, medidas internas. Cada módulo estará subdividido a su vez en 3 celdas delimitadas por bermas impermeables. Las celdas se construirán de un ancho y una longitud igual a 3 m y el área de cada módulo será de 119,2 m<sup>2</sup>.

Considerando que la vida útil del módulo será de 1 año en los primeros dos años de operación y de tres años luego de haber terminado la disposición de los lodos acumulados. A su vez, considerando un horizonte de vida del proyecto de 20 años el área total activa del relleno sanitario será de 952 m<sup>2</sup>. A esto tendremos que sumarle un 30% extra para la construcción de edificios administrativos, para almacenamiento de los equipos y de operación del pretratamiento a realizar, teniendo en total una superficie de 1300 m<sup>2</sup>.

---

#### 7.3.4 IMPERMEABILIZACIÓN DE FONDO Y TALUDES

Los sistemas de impermeabilización son fundamentales para contener el lixiviado dentro del RS y evitar su migración al entorno circundante. Tanto la normativa nacional, como la EPA estipulan el uso de dos o más revestimientos para aquellos RS que contengan residuos peligrosos.

Un sistema típico de doble revestimiento puede tener el revestimiento inferior compuesto por arcilla compactada, membrana flexible (sintético) o cualquier material natural de espesor y permeabilidad adecuados. Sin embargo, el revestimiento superior debe ser siempre un revestimiento de membrana flexible. Estos sistemas requieren de un diseño e instalación adecuados con una selección cuidadosa del material a utilizar, teniendo en consideración las características de los residuos peligrosos, del lixiviado y las condiciones geológicas e hidrogeológicas del sitio (Williams, 2005). Las características deseables del revestimiento según (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023) son: alta compatibilidad con los residuos peligrosos a eliminar; alta resistencia química y biológica; alta durabilidad; baja conductividad hidráulica ( $\leq 1 \times 10^{-7}$  cm/s); espesor óptimo ( $\geq 5$  m); alta estabilidad frente a la presión de sobrecarga (baja compresibilidad); alta resistencia a las tensiones inducidas por el clima, como los ciclos de congelación y descongelación; capacidad de absorción o atenuación; no se descomponga (larga vida útil); fácil de instalar y bajo costo.

---

#### REVESTIMIENTO DE SUELO COMPACTADO DE BAJA PERMEABILIDAD

---

Estos revestimientos se basan en suelos arcillosos naturales (arcillas, limos, arenas) compuestos de minerales arcillosos de permeabilidad adecuadamente baja. Los minerales arcillosos típicos incluyen illita y caolinita, vermiculita, esmectita y clorita (Pichtel, 2014).

La permeabilidad de un revestimiento de arcilla depende de la mineralogía de la arcilla, la distribución del tamaño de las partículas, la plasticidad, la resistencia, el contenido de humedad y el grado de compactación (Williams, 2005). Para cumplir con la conductividad hidráulica como revestimiento ( $\leq 1 \times 10^{-7}$  cm/s) el suelo arcilloso debe contener al menos un 20 % de partículas finas, un máximo del 10 % de partículas del tamaño de grava y exhibir un índice de plasticidad superior al 10 %. Además, no deberían estar presentes rocas con un diámetro superior a 2,5–5 cm (Pichtel, 2014). Para su selección se tiene que tener en consideración también que este tenga grosor suficiente para evitar la migración, sus límites de Atterburg y propiedades de atenuación.

Para crear el revestimiento, el suelo arcilloso natural se excava y luego se tamiza para eliminar los sólidos grandes. Posteriormente, el contenido de humedad y el grado de compactación del suelo arcilloso se ajustan para controlar la permeabilidad del revestimiento final. Cuando la cantidad de minerales de arcilla en el suelo arcilloso es baja, se agrega arcilla de bentonita para lograr una conductividad hidráulica razonablemente baja (Williams, 2005). Es importante señalar que la conductividad hidráulica de estos revestimientos puede aumentar bajo ciclos térmicos o ciclos húmedo-seco inducidos por las condiciones climáticas. Es por ello que se requiere el uso de una cubierta, como una geomembrana o una capa de suelo para proteger el revestimiento de arcilla de la exposición a la atmósfera durante la construcción.

#### REVESTIMIENTO COMPUESTO

---

Los revestimientos compuestos consisten en una capa de bentonita (suelo de baja permeabilidad compactado) que está sostenida o cubierta por una tela geotextil o una geomembrana (FML). En el caso del liner del tipo soportado, se coloca una capa de bentonita encima de una geomembrana. Mientras que el liner del tipo cubierto está compuesto por dos capas de geotextil con una capa intermedia de bentonita. Las capas se mantienen unidas mecánicamente mediante punzonado con aguja, costura o adhesión química. Los requisitos para la selección de sus materiales serán los mismos que los de la selección de estos por separado.

Los revestimientos compuestos ofrecen baja permeabilidad, alta resistencia mecánica, instalación simple y rápida y la capacidad de auto reparación a través del hinchamiento de la bentonita. Además, su vida útil puede ser de hasta miles de años dado que evitan la pérdida de bentonita, la pérdida de conductividad hidráulica y la desecación (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

#### REVESTIMIENTO DE MEMBRANA FLEXIBLE (FML)

---

Los revestimientos de membrana flexibles se basan en materiales sintéticos con baja permeabilidad como plástico o caucho. Los más utilizados en RS de residuos peligrosos están compuestos de cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE /PEAD), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno clorado (CPE), polietileno clorosulfonado (CSPE) y etileno propileno dieno monómero (EPDM) (Williams, 2005); (Pichtel, 2014). Su espesor suele oscilar entre 0,06 y 0,1 mm (EPA, 1988).

La compatibilidad química entre el revestimiento de membrana y los residuos y sus lixiviados es un punto importante a tener en cuenta y debe ser evaluado mediante el método 9090 de la EPA. También es importante tener en cuenta el envejecimiento del revestimiento y las características de durabilidad (resistencia a las agresiones ambientales) que presenta, sus características de tensión/deformación, su facilidad de instalación (colocación, costura) y su reacción frente al vapor de agua y permeación química.

La figura a continuación proporciona una comparación de los materiales mencionados para revestimientos de RS. Estos revestimientos deben seleccionarse cuidadosamente para garantizar la compatibilidad con los residuos peligrosos.

	PVC	HDPE	LDPE	CPE	CSPE	EPDM
Chemical resistance	Low for organics; high for inorganics	Good	Good	Poor	Good	Poor for petroleum and halogenated solvents
Mechanical strength	High	Good (but susceptible to punctures)	Good (but susceptible to punctures)	Good	Low	High
Temperature tolerance	Poor	Good performance at low temperatures				
Weather tolerance	Poor	–	–	Good	Good	Good
Ease of seaming	High	High	High	High	Low	Low

FIGURA 30: COMPARACIÓN DE MATERIALES COMUNMENTE UTILIZADOS EN MEBRANAS FLEXIBLES PARA RS DE SEGURIDAD (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

La instalación cuidadosa de un revestimiento de membrana flexible es fundamental para su desempeño exitoso. Es importante que la superficie que soporta el revestimiento sea lisa, pareja y compactada. Así como también, es importante una costura adecuada para unir las láminas o rollos individuales de modo que se eliminen los bordes libres y se obtengan sellos herméticos y costuras de alta resistencia. Por lo general, la costura se realiza superponiendo el borde de la membrana (5 a 15 cm) utilizando técnicas de fusión térmica, extrusión, químicas o adhesivas y seleccionando el tamaño y la disposición correctamente de manera tal de minimizar la costura de las hojas o rollos individuales (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023). Deben evitarse las costuras horizontales en las pendientes de los taludes y en su lugar deberían realizarse en sentido paralelo a la pendiente. En la base de los taludes debe evitarse las costuras transversales debiendo estar estas a una distancia de 1 a 1,5 m del pie de las pendientes. Las pruebas de costura son de importancia crítica para evaluar la resistencia e integridad de la costura. Estas pruebas pueden ser destructivas, como pruebas de corte o pelado con un tensiómetro de campo, o no destructivas, como doble costura, cámara de vacío, lanza de aire o métodos ultrasónicos. El revestimiento debe estar anclado a la superficie debajo (Cossu & Stegmann, 2019).

Para soportar y proteger estos revestimientos, se emplean geotextiles (fibras de polipropileno o poliéster) y georedes (redes de plástico para drenaje). Además, estos últimos actúan como medios de filtración para eliminar los sólidos del

lixiviado y evitar el bloqueo de las capas de drenaje (Williams, 2005). Al final de la instalación, se debe realizar una prueba hidráulica para identificar cualquier fuga del revestimiento. Se puede realizar también un estudio de ubicación de fugas eléctricas donde se aplica alto voltaje a través del revestimiento (aislante eléctrico) y el flujo de corriente se usa para detectar la ubicación precisa de las fugas. Este método está bien descrito en las normas ASTM D6747 y D7002 (Cossu & Stegmann, 2019).

## DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

---

El sistema doble de impermeabilización estará compuesto por dos revestimientos de baja permeabilidad, por un sistema de colección y extracción de lixiviado (SCR) ubicado por encima del revestimiento superior y por un sistema de detección, colección y remoción (SDCR) de lixiviados entre ambos revestimientos.

La superficie de asiento de sistema de impermeabilización estará nivelada, compactada y rodillada a efectos de obtener una superficie perfecta alisada y con una pendiente de 2%. La cota del acuífero en la zona, de acuerdo a estudios realizados por la empresa, es de 15 m por lo que el relleno tendrá una profundidad de 3 m, quedando a una distancia de seguridad más que suficiente del acuífero.

Como se puede observar en la figura 31 el espesor total de la capa será de 0,75 m y estará compuesto por un paquete estructural que consiste en capas sucesivas enumeradas de abajo hacia arriba de:

- Suelo seleccionado compactado Inferior, logrando una permeabilidad mínima, deseable de  $10^{-7}$  cm/s, que conforma el fondo del recinto, las bermas y los taludes laterales y servirá como superficie directa de apoyo de la primera geomembrana a disponer. Se colocará una capa de 40 cm de espesor de suelo de baja permeabilidad. De ser posible se aprovechará el suelo del lugar, si no se comprará suelo que cumpla con las características.
- Geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) con un espesor de  $1500\mu$ , para la primera capa de impermeabilización. Se mantiene este espesor debido a que se debe contar con un sistema que tienda a lograr máxima garantía en relación con el logro de la impermeabilidad final establecida, y la resistencia a la carga y operación del relleno de seguridad.
- Geocompuesto prefabricado, formado por unión de una GEONET de 5 mm y GEOTEXTIL de 200 gr/m<sup>2</sup> en la cara superior, que protege y garantiza la resistencia al punzonamiento de la geomembrana; permite el manejo y escurrimiento de líquidos hacia el sistema de tubos de drenaje a través de la GEONET y el geotextil superior a los fines de protegerla y evitar el ingreso de materiales finos que pudieran obstruir el sistema.
- Suelo seleccionado compactado Intermedio. Se colocará una capa de 15cm de espesor.
- Geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) con un espesor de  $1500\mu$ , para la segunda capa de impermeabilización.
- Geocompuesto prefabricado, formado por unión de una GEONET de 5 mm y GEOTEXTIL de 200 gr/m<sup>2</sup> en la cara superior.

- Suelo seleccionado compactado Superior. Se colocará una capa de 20cm de espesor.

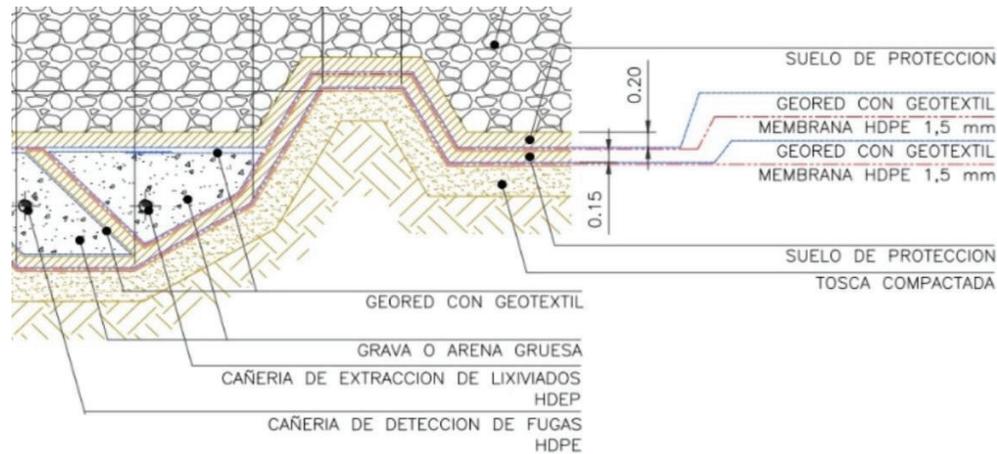


FIGURA 31: ESQUEMA DEL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL SELECCIONADO.

Las membranas flexibles de PEAD de 1500 $\mu$  de espesor elegidas son fabricadas con materia prima 100% virgen. Además, son imputrescibles, químicamente inertes, tienen protección UVH y son de color negro. El material cumplirá con los requisitos técnicos de la Norma GM13 del Geosynthetic Research Institute y contará con protocolos de calidad emitidos por el fabricante, el que contará con certificación ISO 9001 para la aprobación. En el Anexo 9 se encuentran las fichas técnicas de cada material a utilizar.

El conjunto membrana – geotextil – geonet se anclará en una zanja excavada en la banquina interna del terraplén perimetral, siendo las longitudes mínimas de anclajes de 1 m horizontal, 1 m vertical y 0,5 m en horizontal.

Para la defensa perimetral se construirán terraplenes de contención con un ancho de coronamiento de 5 m aproximadamente. Con suelos de textura arcillosa, los cuales serán sometidos a compactación similar a la utilizada en construcción de caminos conforme avancen las obras.

### 7.3.5 LIXIVIADOS

El lixiviado es el líquido que se forma en el fondo del relleno debido a la presencia inicial de agua en los residuos, los cambios fisicoquímicos que ocurren dentro del relleno y/o la infiltración de agua a través de la precipitación y escorrentía superficial (O'Leary & Tchobanoglous, 2002). Las características de los lixiviados dependen de varios factores como las propiedades de los residuos peligrosos que se disponen, su contenido de humedad, la temperatura, la hidrología del sitio y la profundidad y edad del relleno. Sin embargo, se caracterizan por tener altas concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos y ser tóxicos para el ambiente (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

El lixiviado se acumula dentro del sistema de impermeabilización y luego, por gravedad, es trasladado a uno o más sumideros centrales de recolección a través de una serie de tuberías de drenaje perforadas (colectores laterales). Su eliminación debe ser eficaz para garantizar que el nivel del líquido en el revestimiento no supere los 0,3 m. Esto requiere

que el fondo del RS esté inclinado (pendiente mínima del 2%) y que se proporcione una cantidad suficiente de tuberías de drenaje. Una vez recolectado, puede ser tratado o enviado a disposición final (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023); (EPA, 1988).

Los materiales granulares de drenaje que suelen utilizarse son la arena limpia, la grava o la escoria. Al momento de su selección, es importante tener en cuenta que este debe tener alta conductividad hidráulica ( $\geq 1$  cm/seg), baja tensión capilar, debe ser físicamente compatible con la membrana flexible (en caso de contacto indirecto) y físicamente compatible con los filtros granulares. Su espesor debe ser  $\geq 305$  mm.

Por otro lado, los materiales de drenaje sintéticos que suelen utilizarse son los fabricados con polipropileno, poliéster y polietileno. Pueden ser Redes (4 - 7 mm), Geotextiles no tejidos perforados con agujas (2 - 5 mm), Esteras (10 -20 mm) o Placas corrugadas, onduladas o alveoladas (10 - 20 mm). Es importante que posean una alta transmisividad hidráulica ( $\geq 5 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/seg) en las condiciones de carga previstas y que sean compatibles químicamente con el lixiviado.

Finalmente, para los filtros tenemos dos opciones. Por un lado, están los filtros granulares, que son utilizados con materiales granulares de drenaje. Pueden estar compuestos por una capa granular única o por múltiples capas granulares graduadas. Por el otro, están los filtros geotextiles, que son utilizados con material de drenaje tanto granular como sintético. Pueden estar compuestos por geotextiles no tejidos y punzonados en suelos de grano fino, o por geotextiles de monofilamento tejido en arenas.

Estos sistemas deben estar diseñados para operar hasta el período posterior al cierre del relleno. Deben ser químicamente resistente a los residuos y lixiviados y tener suficiente resistencia y espesor para operar y funcionar sin obstrucciones. Además, deben contar con un sumidero del tamaño apropiado para cumplir con los criterios de rendimiento de detección y permitir el monitoreo y medición diaria (EPA, 1988).

En este proyecto, se proveerán dos sistemas de captación de lixiviados, un sistema de captación y remoción de líquido lixiviado primario (SCR) y un sistema de Detección, Captación y Remoción secundario (SDCR) entre las dos membranas del sistema de impermeabilización.

El sistema SCR estará previsto al nivel de la geomembrana superior, destinado a coleccionar los líquidos del sistema de drenaje, y estará compuesto de una conducción de diámetro DN 50 mm de PVC, con perforaciones en el sector superior, que le permitirán a su vez conducir los líquidos hasta la cámara de extracción. Luego de atravesar la membrana, se colocarán caños sin ranurar para evitar filtraciones. La pendiente de fondo transversal será con dirección hacia la tubería de captación de lixiviados. Los colectores de captación de lixiviados estarán envueltos en un geotextil de 200 g/m<sup>2</sup> y serán colocados dentro de un manto grava/piedra partida, en el rango de 16 mm a 32 mm.

El sistema SDCR estará destinado a determinar, por un lado, posibles fallas en la impermeabilización primaria y por otro, coleccionar líquidos que pudieran haber superado el primer revestimiento. Este sistema será similar al SCR, estará

materializado por un conducto de PVC de 50 mm de diámetro ranurado y rodeado de grava/piedra partida, en el rango de 16 mm a 32 mm, con un geotextil de 200 g/m<sup>2</sup> y de 2 mm de espesor que envuelva el material granular.

Además, en el sumidero de extracción se prevé la colocación de dos conductos de 50 mm de diámetro, cada uno ranurado o perforado en todo su perímetro y sólo en la longitud correspondiente a su tramo horizontal. Dicho conducto ascenderá a través de una zanja excavada en el talud lateral del terraplén perimetral, rematándose su salida mediante la conformación de un cabezal de extracción que será de hormigón para protección de los caños. Además, en su extremo superior, los caños tendrán un cierre a rosca o presión y el cabezal una tapa de chapa con un mecanismo de cierre y seguridad.

Mediante una bomba marca Grundfos modelo SLV.80.80 .11.4. 50D.C se extraerán los líquidos generados tanto en las celdas de residuos ya dispuestos y con cobertura final construida, como los líquidos contaminados generados en la celda en operación y las aguas de lluvia que pudieran contaminarse con residuos o lixiviado. Los líquidos bombeados se trasvasarán a un camión cisterna y/o a bins de 1000 l de plástico que permitan su almacenamiento hasta su reutilización en el proceso de estabilización de los residuos con cemento.

Paralelamente, se estudió el drenaje de las aguas superficiales y pluviales. Las mismas serán evacuadas hacia los canales operativos perimetrales los cuales finalizarán en los canales naturales de las áreas de localización. En el sitio de implantación las cunetas tendrán pendientes divergentes con el objeto de repartir los flujos.

---

### 7.3.6 COBERTURA SUPERIOR

Al completar una celda o un módulo se debe aplicar una cubierta final, la cual es un componente integral del RS. Esta cubierta sirve para contener, proteger y aislar los residuos peligrosos y evitar su dispersión por causa del viento. A su vez, ayuda a reducir la infiltración de agua pluvial y superficial y minimizar la liberación de gases y la entrada de aire. Por último, proporciona una superficie para la vegetación del sitio y suprime la proliferación de vectores de enfermedades y otros organismos (O'Leary & Tchobanoglous, 2002); (Williams, 2005).

Según (O'Leary & Tchobanoglous, 2002), la cubierta debe tener una baja permeabilidad, debe mantener la integridad y tener la capacidad de soportar condiciones tales como erosión, abrasión, clima extremo, terremotos, hundimiento y asentamiento dentro del RS, debe promover la escorrentía superficial, permitir el drenaje del agua filtrada y tener un bajo mantenimiento.

Se construye a partir de una serie de capas, primero se coloca una capa de arcilla densa y compactada directamente sobre los residuos peligrosos dispuestos que funciona evitando la infiltración de agua en el RS. A continuación, se coloca por encima una capa de geomembrana con propiedades químicas y físicas similares a las de los revestimientos sintéticos y

que también evita la infiltración de agua en el RS. A diferencia de los revestimientos sintéticos, la cubierta de geomembrana no está expuesta a los lixiviados y, por lo tanto, su compatibilidad química no es un punto a tener en consideración. Puede experimentar tensiones debido al asentamiento de los residuos dentro del RS, sin embargo, su reparación es fácil debido a la proximidad a la superficie. Por encima de la capa de geomembrana de arcilla, se ubica un sistema de recolección y eliminación de agua superficial compuesto por suelos granulares, georedes o geocompuestos con tuberías de drenaje. Finalmente, se agrega una capa de suelo vegetal para completar la cobertura final del RS, está evita la erosión eólica e hídrica, potencia la evapotranspiración y mejora las características estéticas del RS (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

Por lo general, la profundidad mínima de cada capa individual es, capa de arcilla: 0,61 m, capa de geomembrana: 0,02 m, capa de drenaje: 0,3 m y capa vegetal: 0,6 m (EPA, 1988). Además, generalmente tienen una pendiente (3–5%) después del asentamiento o hundimiento para promover la escorrentía, minimizar la infiltración y acomodar el asentamiento de los residuos dentro del RS (Wright, 1989).

Para el diseño de la cobertura vegetal es importante que esta tenga una erosión y mantenimiento mínimos (p. ej., fertilización, riego), que el crecimiento vegetativo de las raíces no se extienda por debajo de los 0,6 m y que el sistema de drenaje superficial sea capaz de conducir la escorrentía. En el caso de la capa de drenaje, esta debe poseer una conductividad hidráulica saturada  $\geq 10^{-3}$  cm/seg, una pendiente del fondo  $\geq 2\%$  (después del asentamiento/hundimiento) y debe estar cubierta por un filtro granular graduado o sintético para evitar obstrucciones y permitir el flujo lateral y la descarga de líquidos. Finalmente, en el revestimiento de baja permeabilidad, la membrana flexible debe tener una pendiente superior final  $\geq 2\%$  (después del asentamiento) y debe estar ubicada completamente por debajo de la profundidad promedio de penetración de escarcha en el área. El suelo por su parte debe tener una conductividad hidráulica saturada  $\leq 1 \times 10^{-7}$  cm/s y debe ser instalado en ascensores de 0,15 m (Zaeem, Haider, & Sattar, 2023).

Para el diseño del RS se ha adoptado dos tipos de cobertura superior desde el punto de vista de su utilización: Diaria y final.

#### Cobertura diaria

Por las características del material a disponer y la condición de minimizar la generación de lixiviado por la incorporación de precipitación pluvial durante los períodos de operación y entre jornadas, y por las exigencias de la normativa vigente, es necesario disponer una cobertura diaria en cada celda en operación. A los efectos de cumplir con esta condición de diseño se definió la utilización de una geomembrana que cubra los residuos mientras no se esté operando. Luego, se dispondrá una capa de arcilla compactada de 0,2 m.

#### Cobertura superior final

Al ser alcanzadas las cotas de proyecto del RS en cada celda es necesario cubrir inmediatamente los mismos con una capa compuesta por los siguientes materiales en orden descendente:

- Suelo vegetal (arcilla) 0,6 m
- Suelo de protección / filtro 0,3 m
- Geotextil 200 g/m<sup>2</sup> y esp. 2mm
- Geonet esp. 5 mm
- Membrana HDPE esp. 0,51 mm
- Suelo de protección 0,6 m
- Suelo de corrección 0,15 m

La membrana de HDPE (e =0,51 mm) se anclará en el terraplén perimetral en la misma zanja de anclaje de las membranas de fondo y taludes, las pendientes de la cobertura serán de 1:4 y 4% y las longitudes mínimas de anclaje serán de 1 m horizontal y 1 m vertical. La cobertura final se efectuará por etapas a medida que se vayan completando las celdas hasta completar el módulo.

---

### 7.3.7 CAMINOS Y ACCESOS

Los terraplenes son los que circunscriben el RS y delimitan un compartimiento estanco. Dicho compartimiento constituye lo que se ha denominado módulo. Serán utilizados además para el tránsito de vehículos, equipos y maquinarias durante la construcción, operación y mantenimiento del predio y del RS.

Los terraplenes perimetrales se ejecutarán en parte con material arcilloso, con un grado de compactación que asegure la estabilidad de los mismos, soporte las cargas de los vehículos que circulen por encima de ellos, y sirva de asiento al anclaje de los sistemas de colección y remoción de lixiviados (SCR), el sistema de detección, colección y remoción de lixiviado (SDCR) y el sistema de cobertura superior.

Como mínimo tendrán un ancho de coronamiento de 5 m y su cota se definirá en base a cotas de inundación prefijadas, de acuerdo a la información que debería ser recabada de los niveles hidrométricos disponibles para el área en estudio.

Una vez ejecutados los terraplenes se colocará la carpeta de rodamiento necesaria para que los vehículos lleguen hasta la zona de descarga. Dicha carpeta de rodamiento se compone de una capa de suelo tosca, a la cual le seguirá en orden ascendente una capa de escombros. Cuando las condiciones climáticas así lo exijan se adicionarán capas de piedra partida y/o escoria en los accesos y calles operativas que lo requieran.

Los drenajes operativos se materializarán con cunetas al costado de las calles perimetrales, instalándose caños y alcantarillas que conectarán las mencionadas cunetas con su descarga a los canales de desagüe externos.

---

### 7.3.7 GASES

A diferencia de los rellenos de residuos municipales, la liberación de gas de los RS dedicados a la disposición de residuos peligrosos es poco común. Esto se debe a que la mayoría de los residuos peligrosos se reciben en forma estabilizada o solidificada sin constituyentes biodegradables (Pichtel, 2014). Sin embargo, en el caso de la eliminación de residuos orgánicos peligrosos, se puede generar gas de RS a través de la biodegradación anaeróbica de la materia orgánica. Por lo general, el gas contiene metano y dióxido de carbono (gases de efecto invernadero) como componentes principales junto con pequeñas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (Williams, 2005). Con el metano como uno de los componentes principales, el gas puede causar asfixia o formar mezclas explosivas o inflamables con el aire. Además, el gas tiene la capacidad de viajar vertical o lateralmente a través de los suelos debido a los gradientes de presión y concentración (Wright, 1989). Dadas estas características, la vigilancia y el control de los gases del relleno cobran importancia para evitar efectos nocivos sobre los trabajadores y el entorno.

Se puede monitorear a través de técnicas de monitoreo superficiales o subterráneas. El monitoreo de superficie se basa en el uso de detectores de gas portátiles y portátiles con sensores de uno o varios gases. El monitoreo del subsuelo, por otro lado, utiliza sondas para monitorear el gas dentro del vertedero y en los alrededores. Las sondas también permiten la transferencia de superficie y la recolección de gas (a través de una válvula de muestreo) para análisis de laboratorio (Williams, 2005).

El control de los gases se logra a través de sistemas de control pasivos o activos. El control pasivo reduce la migración lateral del gas mediante el uso de sistemas de ventilación atmosférica que se instalan a través de la cubierta final del relleno. Este tipo de control solo se recomienda cuando la tasa de generación de gas es baja y no hay componentes tóxicos presentes. Los sistemas de control activo, por otro lado, se basan en la extracción de gas mediante la creación de una presión negativa, por ejemplo, utilizando un soplador. Se pueden utilizar pozos de extracción verticales y horizontales para este propósito. El gas extraído puede ser venteado y quemado o recolectado para su uso (O'Leary & Tchobanoglous, 2002).

Según la EPA, 1988 el caudal típico de generación de gases en rellenos sanitarios de seguridad es entre 15 y 30 ft<sup>3</sup>/h por cada 1000 ft<sup>2</sup> de superficie del relleno. En base a estos valores y considerando que si bien los residuos a disponer son orgánicos estos se encuentran estabilizados y encapsulados dentro de una matriz de cemento por lo que no se espera una degradación importante de la materia orgánica. En línea con esto y dado que no es posible realizar ensayos de los residuos estabilizados para definir su tasa de degradación y generación de gases, se toma que la generación de gas en el relleno es de 0,425 m<sup>3</sup>/h por cada 93 m<sup>2</sup> del relleno. El método seleccionado para su ventilación es el control pasivo y venteo.

---

### 7.3.8 CONSTRUCCIÓN

A continuación, se detallarán las tareas descritas por la empresa (Coripa, 2023) a realizar durante la construcción del relleno sanitario de seguridad detallando los recaudos a tener en cuenta y los ensayos a realizar.

Durante la construcción del relleno se realizará la cobertura y compactación del suelo protector en sus tres capas (inferior, intermedio y superior) previo a la colocación de los materiales geo sintéticos. En estas capas se realizarán ensayos de densidad de compactación (Proctor>95%) en los sitios y cantidades indicadas por la Dirección de Obra, tomando como dato estimativo 1 ensayo de compactación y permeabilidad por cada 500 m<sup>2</sup> de superficie y por capa.

Los paños se colocarán sobre la superficie preparada y previamente autorizada por la Dirección de Obra, solapándolos a fin de poder ejecutar la soldadura entre ellos.

Las soldaduras de paños de membrana que se realicen sobre los taludes del recinto se ejecutarán en el sentido de las pendientes, a efectos de minimizar los esfuerzos sobre las mismas. Por otra parte, el tendido de los paños sobre los taludes de los terraplenes presentará pliegues, para absorber posibles deslizamientos.

El anclaje del paquete impermeabilizante se realizará tal como se detalla en la sección 7.3.4 a efectos de evitar el deterioro de las membranas en la zona de anclaje, durante la operación del relleno.

Una vez aprobados por la Dirección de Obra los trabajos de tendido, solapado y soldado de paños de membranas, se procederá a cubrir dicho paquete con una capa de 0,15m de espesor de suelo seleccionado, procediendo a cubrir en primer lugar la superficie de fondo de celda, para luego cubrir las bermas de separación y los taludes del recinto. Finalmente se completará el coronamiento superior de los taludes y las zanjas de anclaje con suelo fino seleccionado y compactado.

## INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS

---

La superficie de apoyo deberá estar limpia, libre de cualquier tipo de objeto (vegetación, basura, rocas filosas, etc.) que podría dañar el paquete impermeabilizante. La superficie deberá proporcionar una capa base firme para la geomembrana sin cambios abruptos o agudos, o grietas en la explanación. Por otro lado, se deben controlar los niveles de proyecto previo del desplegado, junto con su uniformidad, compactación, pendientes requeridas, etc. No se deberá comenzar o liberar el inicio, hasta que las condiciones antes mencionadas no sean aceptables.

Previo al desplegado del paquete impermeabilizante, con la superficie de apoyo apta para su revestido, se deberá presentar un plano de disposición de paños de Liner o “Lay-out”, en donde se indique un orden lógico de desplegado de rollos, y corte de paños. Además, se deberá incluir la siguiente información de cada paño (a coordinar con la Dirección de Obra):

- N° de Paño.
- Longitud.

- N° de rollo al cual pertenece (todos los rollos tienen un número de identificación del fabricante).
- Fecha estimada de colocación.

La unión de la geomembrana con empalmes de las diferentes fases será realizada a través de soldadura por cuña caliente, realizando posteriormente el empalme en cruces a través de soldadura por extrusión. La geomembrana será provista a la obra en su correspondiente empaque. Adicionalmente debe ser inspeccionada visualmente para asegurar que esté libre de perforaciones, burbujas, cortes o rajaduras. Solo el material que está listo para ser soldado debe ser desenrollado.

Los paneles deberán desplegarse uno por uno, de acuerdo al plano de disposición. Estos deben tener un contacto íntimo con la sub-base, evitando la mayor cantidad de vacíos o arrugas. El Liner se posicionará para lograr el solape adecuado para su soldado.

Para el manipuleo y despliegue de rollos, el reducido peso de los mismos hace que no haga falta la utilización de maquinaria como ser, grúas, retro-pala, etc. El personal que camine sobre la geomembrana debe usar zapatillas. No será permitida la circulación de equipamiento pesado, camionetas o tractores sobre la geomembrana, a no ser que se haya especificado previamente y tomado los recaudos pertinentes.

Deberán emplearse bolsas de arena o material apto, para evitar que la membrana sea levantada por el viento. Las bolsas de arena, u otro material apto, con un peso aproximado de 15 Kg deberán colocarse a no más de 1,0 m de distancia una de la otra, en todos los extremos del revestimiento para evitar daño causado por el viento. Durante condiciones extremadamente ventosas, las bolsas de arena deberán redistribuirse logrando mayor densidad de lastres. No deberá realizarse el despliegue durante periodos de vientos fuertes, precipitaciones o cuando las condiciones ambientales no permitan la realización de operaciones de soldadura satisfactorias.

Las juntas deberán ser soldadas inmediatamente después que los paneles estén alineados, a fin de reducir la posibilidad de problemas causados por la expansión y contracción del revestimiento o relacionadas al clima, tales como daño ocasionado por el viento. Antes de soldar, se debe tener especial cuidado de que el área de la costura se encuentre limpia y libre de humedad, polvo, basura de cualquier naturaleza y cuerpos extraños.

Las juntas deben estar alineadas con el mínimo número posible de aberturas tipo bocas de pescado (fishmouths). En caso de presencia de las mismas, deberán ser cortados a lo largo del filo de la arruga a fin de obtener un traslape plano. Las bocas de pescado o arrugas cortadas deberán ser fusionadas y cualquier porción en la cual el traslape es inadecuado deberá ser parchado con un parche ovalado o redondo de la misma geomembrana, extendiéndose un mínimo de 150 mm más allá del corte, en toda dirección.

En el caso de la geomembrana de PEAD se puede trabajar con dos tipos de soldadura, que requieren de equipos especiales. Por un lado, está la Soldadura por termofusión, utilizada para cualquier unión entre paños, en esta se ajusta la máquina al calibre o espesor del material y se programa a una temperatura determinada, dependiendo de la temperatura ambiente. Así mismo, se regula una velocidad de metros lineales por minuto. Por el otro lado está la soldadura por

extrusión con material de aporte la cual se utilizará únicamente para parches en control de calidad. Se basa en un sistema de soldadura efectuado por un cordón continuo de polietileno de alta densidad (ROD HDPE), de la misma calidad que la membrana, depositado en el solape de la misma mediante un proceso de extrusión.

Además, deberán efectuarse soldaduras de prueba en piezas de fragmento de revestimiento de geomembrana para verificar que las condiciones de costura sean las adecuadas. Dichas pruebas deberán realizarse al inicio de cada periodo de soldadura (principio del día, medio día y en cualquier momento en el cual el equipo sea apagado y puesto a enfriar) para cada equipo de soldadura utilizado. Las pruebas deberán ser efectuadas bajo las mismas condiciones que las soldaduras reales. Las muestras deberán ser de aproximadamente de 1.0 m de largo por 0.3 m de ancho (luego de la costura) con la costura centrada a lo largo. El traslape de la costura deberá ser nominalmente de 100 mm; 75 mm como mínimo.

Dos muestras adyacentes de 25 mm de ancho cada una, deberán ser cortadas de la muestra de la costura de prueba por el instalador. Las muestras deberán ser probadas por esfuerzo de corte (shear) y por despegado (peel) utilizando un tensiómetro de campo y no deberán fallar en la costura. Si la muestra adicional falla, toda la operación deberá repetirse. El equipo de soldadura no deberá ser aceptado y no deberá ser utilizado hasta que las deficiencias hayan sido corregidas y dos pruebas completas hayan sido exitosamente completadas.

Para la soldadura por termofusión se empleará el equipo de cuña caliente Leister Comet que se muestra en la siguiente imagen.



FIGURA 32 SOLDADORA AUTOMÁTICA DE CUÑA CALIENTE LEISTER COMET. (FUENTE: (Coripa, 2023))

Los equipos de extracción se utilizan para cualquier unión entre paños de polietileno, con insertos de polylock. Así como también para parches en control de calidad. Para pasar con la extrusora el paño debe estar previamente posicionado, cortado, pegado al polylock y pulido. Ese pegado es una sujeción temporal que se realiza con pistolas de calor, mientras que el pulido se realiza con una amoladora circular.



FIGURA 33 EXTRUSORA MANUAL LEISTER FUSION 3 (FUENTE: (Coripa, 2023))

## CONTROL DE CALIDAD

---

### Ensayo de Continuidad de Junta No-destructiva

Se realizará pruebas no-destructivas en todas las soldaduras de campo en su extensión total utilizando una unidad de prueba de vacío (Vacuum Test), prueba de presión de aire u otro método aprobado. El propósito de las pruebas no-destructivas es el de verificar la continuidad de las juntas y no proporciona información sobre la resistencia de las mismas.

Las pruebas de continuidad deberán efectuarse a medida que el trabajo de soldadura avanza y no a la finalización de todo el trabajo de soldadura de campo.

### Ensayo de vacío (Vacuum Test) – Norma ASTM D 4437

Este equipo comprende una caja de vacío que consiste en una caja rígida, una ventana transparente para observación, una empaquetadura de neopreno blanda adherida a la parte inferior, ensamblaje de apertura o válvula y un manómetro para indicar el vacío de la cámara. Además, comprende un tanque al vacío y bomba, equipado con un controlador a presión y conexiones, una manguera de goma para vacío a presión con accesorios y conexiones, un balde plástico y un cepillo ancho, un trapeador y solución de jabón.

Deberán seguirse los siguientes pasos:

- Energizar la bomba de vacío y reducir la presión del tanque a aproximadamente 2 psi.
- Humedecer una tira de geomembrana de aproximadamente 12 pulgadas por 48 pulgadas (0.3 m por 1.2 m) con la solución de jabón.
- Colocar la caja sobre el área mojada.
- Cerrar la válvula de descarga y abrir la válvula de vacío.
- Asegurarse de que se forme un sello totalmente hermético.

- Por un periodo de aproximadamente 5 a 10 segundos, examinar la geomembrana a través de la ventana para determinar la presencia de burbujas de jabón.
- En caso de que no se evidencien burbujas luego de 10 segundos, cerrar la válvula de vacío y abrir la válvula de descarga, mover la caja sobre la siguiente área adyacente con un traslape mínimo de 3 pulgadas (75 mm), y repetir la operación.
- Todas las áreas en las cuales aparezcan burbujas de jabón deberán ser marcadas y reparadas.
- Las juntas sujetas a pruebas de vacío serán registradas en el Reporte de Progreso Diario.

#### Ensayo de Presión de Aire (Soldadura de Doble Fusión) – Norma ASTM D5820

Este ensayo deberá realizarse únicamente cuando se hayan realizado soldaduras por fusión. El equipo estará compuesto por una bomba de aire (manual o a motor) equipada con un manómetro de presión capaz de generar y sostener un nivel de presión entre 10 y 35 psi (70 y 240 kPa), una manguera de goma con accesorios y conexiones y una aguja perforada para alimentación a presión.

Deberá seguirse el siguiente procedimiento:

- Sellar ambos extremos de la soldadura a ser probada
- Insertar la aguja en el canal conformado por la soldadura de termofusión
- Energizar la bomba de aire hasta una presión entre 10 y 35 psi (70 y 240 kPa), dependiendo del espesor y tipo del polímero de la geomembrana (cerrar la válvula y mantener la presión por aproximadamente cinco minutos, después de que el aire se estabilice en el canal por un periodo de 2 minutos).
- Si la pérdida de presión excede valores estándares de acuerdo con el espesor y material (3 psi y 20 kPa), o si no se estabiliza, localizar el área con falla y reparar.
- Retirar la aguja o el otro dispositivo aprobado para alimentación a presión y sellar.
- Registrar las soldaduras sujetas a prueba de presión en los Reportes correspondientes.

#### Ensayo de arco eléctrico– Norma ASTM D7953

Para este método es necesario que el estrato inferior a la geomembrana tenga suficiente conductividad. Para el caso de que sea el suelo el medio conductor, deberá tener un grado de humedad óptimo.

La configuración de los equipos consta de un electrodo conectado a tierra, o a la subrasante de la geomembrana, y otro electrodo "movil" sobre la superficie de la geomembrana. Este último se acopla a un detector Holiday, encargado de emitir una señal sonora en caso de detectar una fuga, mediante la medición de diferencias de potencial o de corriente eléctrica. Cuando se detectada una falla, se cierra el circuito eléctrico entre ambos electrodos siendo el suelo de la

subrasante el conductor, produciéndose un arco eléctrico en la fuga de la impermeabilización. Los voltajes necesarios tienen valores elevados, alrededor de los 20.000 volts, para producir corrientes de bajos valores.

#### Ensayos Destructivos

Las pruebas destructivas en campo deberán realizarse en sitios elegidos al azar. El propósito de estas pruebas es el de verificar que las soldaduras estén totalmente integradas entre sí y evaluar la resistencia de las juntas. Las pruebas de resistencia de las juntas deberán efectuarse a medida que el trabajo de soldadura progresa, no al final del trabajo de soldadura de campo. Se efectuarán antes del inicio de los trabajos de campo en la muestra de la prueba de soldadura, siguiendo los mismos parámetros señalados a continuación.

Las muestras destructivas deberán ser obtenidas a intervalos de una (1) muestra para cada 150 metros lineales de soldadura. Si los resultados a medida que avanza el trabajo son positivos, se podrá alargar la distancia de corte de muestras, o si estas son desfavorables se la podrá acortar (GR Standard GM19). Se deberá cortar una muestra de la junta soldada, de 1' (0.30 m) de ancho por 1.5' (0.45 m) de largo, con la costura centrada en forma paralela a la longitud. De esta muestra se deberán cortar diez (10) cupones de 1" (25 mm) de ancho por 6" (150 mm) de largo. Estos cupones serán utilizados para las pruebas de corte (Shear) y despegado (Peel).

#### Ensayo de Despegado (Peel) – Norma ASTM D 413:

- Utilizar como mínimo 5 muestras de 25mm de ancho cada una, con las mordazas posicionadas a no menos de 13 mm en cada lado del inicio de la soldadura y a una velocidad constante de 50 mm/min.
- Ensayar las muestras hasta la rotura y registrar el valor máximo, así como el tipo de rotura.

#### Ensayo de Corte (Peel) – Norma ASTM D 882:

- Utilizar como mínimo 5 muestras de 25mm de ancho cada una. La distancia entre las mordazas antes de iniciar el ensayo deberá ser de 50 mm más el ancho de la soldadura. La soldadura deberá estar centrada entre las abrazaderas y la velocidad de ensayo deberá ser constante de 500 +/- 0,2 mm/min.
- Ensayar las muestras hasta la rotura y registrar el valor máximo, así como el tipo de rotura.
- En ambos ensayos registrar la máxima carga aplicada al espécimen al momento de rotura o separación.

Para obtener el resultado promediar el valor pico de cada una de las 5 muestras.

#### Resultado de los ensayos:

- El resultado promedio de las 5 muestras deberá ser mayor que los valores mínimos especificados para corte y despegado.
- 4 muestras de las 5 deberán exceder los valores mínimos.

En el informe de construcción se deberá identificar la geomembrana, incluyendo el tipo de polímero, el espesor, si es reforzada o no y la ubicación de la muestra y su identificación, el método de unión, la temperatura ambiente y la temperatura de membrana. Además, se deberá ampliar la información colocando el ancho de la soldadura, la fecha de soldadura, la identificación del fabricante, el método de curado y el tipo de maquina utilizada, la separación de las mordazas, la velocidad de ensayo, la textura de la superficie de la mordaza, la dimensión y presión de la mordaza.

## REPARACIONES

---

Para realizar las reparaciones se procederá a utilizar parches del mismo material que el Liner. Su uso está aplicado a reparaciones de orificios, toma de muestras para ensayos destructivos, o uniones de más de dos paños. Los mismos deberán extenderse por lo menos 150 mm más allá del extremo del área defectuosa, y todas las esquinas de los parches deberán ser redondeadas con un radio mínimo de 75 mm. Cada parche deberá ser identificado.

Se procederá de la siguiente manera:

- Todas las superficies de la membrana deben estar secas y limpias al momento de la reparación.
- Cortar el parche de acuerdo a las dimensiones indicadas anteriormente.
- Desbastar todo el perímetro del parche con la ayuda de una amoladora circular.
- Realizar una fijación transitoria del parche sobre la superficie del Liner mediante una pistola de calor.
- Posteriormente se deberán lijar los bordes del parche.
- Finalmente realizar una soldadura por extrusión sobre la unión parche-Liner.

---

### 7.3.9 OPERACIÓN

Como se mencionó previamente, con el fin de disminuir la cantidad de lixiviados a generar, la operación del relleno será durante los meses de abril a octubre en turnos de 6x2 de 8 horas diarias en horario central que permitirán acompañar la operación de la mina. Así mismo, para disminuir el riesgo, el transporte desde el punto de generación se realizará durante todo el año, priorizando los meses con menor cantidad de nieve en la cordillera (marzo-abril-septiembre-octubre-noviembre).

La recepción de los residuos se realizará en horarios adecuados a los efectos de optimizar las tareas de operación del RS por un lado y de adecuar las condiciones de generación, transporte, por otro. El acceso al predio será controlado por un servicio de vigilancia, para lo cual existirá una cabina de control/acceso. Los residuos serán recepcionados mediante un sistema que asegure el correcto control, identificación y registro de las cantidades, horarios, transportistas, tipo de transporte, origen, etc.

Los caminos internos estarán perfectamente señalizados para evitar minimizar situaciones de riesgo y accidentes y los accesos perfectamente individualizados y señalizados.

## METODOLOGÍA DE DISPOSICIÓN

---

Los vehículos de transporte circularán por los caminos internos y terraplenes hasta la zona de descarga y almacenamiento de los lodos generados. En dicho galpón se llevará a cabo la estabilización del residuo detallada en la sección 7.3.2. A continuación, del sector de secado, los bloques de residuo estabilizado serán transportados mediante camiones hasta la playa de descarga construida a tal efecto anexa al terraplén perimetral del RS, controlados por personal responsable. Desde ese lugar el equipo de disposición de residuos dispondrá, apilará y compactará la cobertura intermedia en los niveles diseñados. Esta operación se realizará desde la playa de descarga hacia el interior de las fajas de disposición descriptas.

Luego del acarreo de los bloques de residuos, el equipo compactador volverá a pasar por sobre la capa de cobertura intermedia por lo menos tres veces más, a efectos de lograr una buena compactación y mayor densidad. La densificación producirá un efecto de sellado logrando una menor generación de líquidos lixiviados y minimizará los asentamientos diferenciales con la consecuente mejora de la cobertura final superior del RS.

El sector de operación finalizará su recepción de residuos cuando se alcancen las cotas finales de proyecto calculadas con la prevención de disminución de alturas por eventuales asentamientos. A su vez, cada uno de los sectores se empalmará o adosará con el siguiente a efectos de materializar una buena adherencia y consecuente homogenización de la superficie global.

Diariamente, al final de cada jornada de operación se procederá a cubrir los residuos con una membrana de HDPE de espesor igual a 0,51 mm. Para ejecutar esta operación, se dispondrá de un sistema de anclaje provisorio de las membranas para evitar su desplazamiento por efecto de los vientos y la filtración/escurrecimiento de agua de lluvia dentro de la celda en operación.

La cobertura definitiva se realizará una vez que los residuos alcancen las cotas finales de diseño, en cada celda. La misma constituye el cierre superior de los residuos y como tal además de definir la finalización de recepción de residuos para esa celda, determinará las condiciones de evacuación de las aguas pluviales. Al evacuar rápida y eficazmente las aguas pluviales se minimizará la cantidad de lixiviados generados en el interior del RS.

La forma de cubrir los residuos se iniciará con una capa de 0,15m de espesor de suelo que corregirá la rugosidad e irregularidades de la superficie superior de los residuos. Posteriormente se depositará una capa de suelo de protección de 0,3 m que tiene como objetivo principal brindar una superficie nivelada y uniforme para asentar la membrana sintética de HDPE de 0,51 mm que impermeabilizará la superficie. Esta membrana estará anclada en una trinchera que se realizará en el terraplén perimetral.

Luego se colocará otra capa de suelo de protección de 0,15 m de espesor sobre el HDPE y por encima de éste, una última capa de 0,3 m de espesor de suelo vegetal que facilitará el rápido crecimiento de vegetación a los efectos de disminuir el potencial riesgo de erosión y mejorará las condiciones de evapotranspiración de las capas superiores.

### 7.3.10 CIERRE Y POST CIERRE

Una vez finalizada la operación y luego concluida la vida útil del relleno, deberá elaborarse el plan de cierre y post cierre. En dicho plan se tendrán en cuenta las obras, calendarios y procedimientos de descontaminación basados en los siguientes criterios, la descontaminación de equipos y maquinarias, la elaboración del Plan de Post-Cierre, la colección del transporte y tratamiento de los líquidos lixiviados generados, la limpieza final del área, el control topográfico de asentamientos, pérdidas de lixiviado, perfilado, espesores de cobertura y modificaciones de infraestructura (agrietamientos, erosión, fisuras), el programa de monitoreo ambiental que incluye el monitoreo de Aguas superficiales (canales, arroyos, drenajes, cunetas), Aguas subterráneas (napa freática, acuíferos), Aire, Fauna y Flora, el programa de control de subsuelo de fundación, del manto impermeable, de terraplenes y/o estructuras confinantes, de la cobertura, vegetación sobre cobertura y alledaña al RS, el programa de monitoreo del RS que incluye el testeo de líquidos lixiviados (cantidad y calidad), de las tasas de infiltración de aguas superficiales, el programa de ejecución de tareas de reparación sanitaria y el programa de inspecciones rutinarias.

## 7.4 MEMORIA DE CÁLCULO

A continuación, se muestra el detalle de los cálculos realizados para el dimensionamiento del relleno sanitario de seguridad.

### 7.4.1 VOLUMEN DEL RELLENO

El relleno sanitario que se diseña es bajo el método de zanja o celda. Para su diseño se considera, durante los primeros dos años de operación, una generación anual de lodos de 162 m<sup>3</sup>. Como se detalló, estos lodos serán mezclados con carbón activado (2 % m/m) y cemento (ratio 0,5 cemento/residuo). Resultando en una generación anual de 145,8 m<sup>3</sup> de residuo estabilizado. Además, se considera un 20% de material de cobertura diaria a disponer al finalizar una pila de residuo, teniendo así un volumen de módulo del relleno de 174.96 m<sup>3</sup>.

Se toma una profundidad de 3 metros considerando que, según estudios realizados por la empresa, el acuífero más cercano en la zona se encuentra a 15 metros de profundidad, dejando una distancia de seguridad suficiente entre este y el relleno de seguridad.

La vida útil de cada celda dentro del módulo debe ser de 30 a 90 días. Se define entonces su vida útil en 60 días para así construir 3 celdas por año y por módulo. Conociendo entonces la cantidad de residuos estabilizados que se generan por día y la vida útil de las celdas, se tiene un volumen de 37 m<sup>3</sup> por cada celda. La altura de elevación de la celda recomendada en rellenos mecanizados, incluida la cubierta intermedia, es de 3 a 4 metros. En este caso se toma 3 m, con residuos escalonados en 6 niveles. El ancho de la celda típica es de 3 a 9 metros. Conocida la profundidad de la celda, y para

evitar el acarreo por largas distancias de los residuos estabilizados y el material de cobertura, se define un ancho de celda de 3 m.

Por último, la pendiente de los taludes debe ser de 2:1 a 3:1, tomando una pendiente de 2:1 (O’Leary & Tchobanoglous, 2002); (EPA, 1988). A partir de la relación de la pendiente (ecuación 58), la ecuación de volumen de una pirámide truncada y las medidas adoptadas, se calculan las medidas corregidas del módulo. Donde c es el ancho del módulo y equivale a los 3 m de la celda.

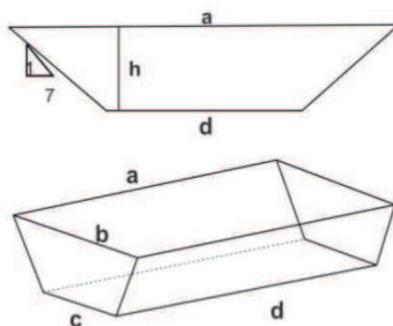


FIGURA 34: DIAGRAMA DE UNA PIRAMIDE TRUNCADA.

$$\text{Lado superior} = \text{Lado inferior} + 2(2 * h) \quad \text{Ecuación 58}$$

$$V = \frac{1}{3}h(a * b + c * d + \sqrt{(a * b) * (c * d)}) \quad \text{Ecuación 59}$$

En la tabla a continuación se detallan las medidas obtenidas y el volumen corregido.

TABLA XXXI: MEDIDAS DE LOS MÓDULOS DISEÑADOS PARA EL RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD.

C (m)	B (m)	D (m)	A (m)	H (m)	Volumen corregido (m³)	Área (m²)
3	15	6	18	3	357,7	119,2

A partir de la profundidad y el volumen corregido, se obtiene que cada módulo tendrá un área de 119,2 m² considerando que la vida útil de estos será de 1 año en los primeros dos años y de tres años luego de haber terminado la disposición de los lodos acumulados. Es importante tener en cuenta que este volumen incluye las capas de cobertura inferiores y superiores.

Considerando un horizonte de vida del proyecto de 20 años el área total activa del relleno sanitario será de 952 m². A esto tendremos que sumarle un 30% extra para la construcción de edificios administrativos, para almacenamiento de los equipos y de operación del pretratamiento a realizar, teniendo en total una superficie de 1300 m².

## 7.4.2 GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

Para estimar el volumen de formación de lixiviados se procede a realizar un balance hídrico del relleno sanitario proyectado según la (EPA, 1988). En donde los principales componentes que intervienen en el balance hídrico son como ingreso (positivo), el agua que entra en la celda desde arriba por efecto de la lluvia. Y como egresos (negativos) tenemos el agua que no ingresa al relleno debido a la escorrentía superficial, el almacenamiento de humedad del suelo, es decir, la humedad retenida en el suelo después de que se haya producido una determinada cantidad de pérdida o ganancia de agua potencial acumulada y la evapotranspiración real, es decir, la cantidad real de pérdida de agua durante un mes determinado.

Para ello se supone que la generación de lixiviados es debido a la precipitación pluvial ya que el residuo se dispone seco y estabilizado por lo que la generación líquidos por descomposición u otros procesos físicos o químicos dentro de la masa dispuesta se desprecia. Sin embargo, sería ideal realizar estudios de laboratorio para confirmar dichas suposiciones. Además, se asume que el módulo en operación se encuentra sin cubierta superior, que la lluvia se distribuye uniformemente en toda el área del módulo y que la precipitación ocurre dentro del horario de operación y por lo tanto sin cobertura diaria.

$$Perc = P - \frac{R}{O} - ST - AET \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde Perc es la percolación, es decir, el líquido que impregna los residuos sólidos; P es la precipitación para la que normalmente se utilizan los valores medios mensuales (4,6 mm/mes); R/O es la escorrentía superficial; ST es el almacenamiento de humedad del suelo y AET es la evapotranspiración real (50 mm).

Considerando que la operación del relleno será en los meses de menor precipitación, que la evapotranspiración durante esos meses es mayor que la precipitación y que dada las características de la zona de implantación del proyecto (zona de precordillera) la escorrentía superficial es alta, se espera que la generación de lixiviado sea baja o nula durante estos meses. Sin embargo, con el fin de adoptar un factor de seguridad considerable para el proyecto, se toma como que toda el agua de lluvia ingresa al relleno.

El área de aporte de agua que tiene más probabilidad de generar lixiviado es la compuesta por el área de la celda en operación más la correspondiente a la mitad de la celda contigua sin residuo, es decir,  $A_t = 29,8 \text{ m}^2$ . Además, se considera que, los taludes, fondos y bermas de las celdas del módulo están completamente impermeabilizados, no existe intrusión de aguas subterráneas, no existe infiltración y los terraplenes tienen pendiente de coronamiento hacia el exterior de las celdas.

Para la precipitación pluvial de diseño se utilizaron los valores obtenidos en las series de registros del sistema meteorológico nacional para el área de localización. Se adoptó el valor de la lluvia acumulada anual correspondiente a valores promedio mensual de una serie de 10 años para los meses de operación del relleno (abril a octubre).  $P = 20,3 \text{ mm}$ . Entonces el volumen generado mensualmente será,

$$V = P_d * A_t = 0,8 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} = 0,03 \text{ m}^3/\text{día} \quad \text{Ecuación 61}$$

A partir de este caudal de generación y las ecuaciones presentadas en la sección 6.2.4 de sistemas de conducción por gravedad se llega a la conclusión de que se necesitan tuberías de PVC ranuradas de 10 mm de diámetro interno. Dado que no se encuentran diámetros tan chicos en el mercado se decide trabajar con tuberías de 50 mm de diámetro nominal.

El líquido generado irá por gravedad hasta una cámara de extracción de lixiviados ubicada en el fondo del módulo. De ahí serán bobeados a la superficie utilizando una boba marca Grundfos modelo SLV.80.80 .11.4.50D.C. Esta se eligió siguiendo las ecuaciones presentadas en la sección 6.2.4 de sistemas de conducción.

## CAPÍTULO 8: COMPUTO Y PRESUPUESTO

El análisis de cómputo y presupuesto es de gran importancia para el desarrollo de los proyectos de ingeniería ya que en este se lleva a cabo un análisis económico de las alternativas diseñadas y su sostenibilidad en el tiempo. A continuación, se hará una comparativa de las distintas alternativas planteadas desarrollando brevemente los costos de inversión inicial y de operación y mantenimiento para cada una.

### 8.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial hace referencia al capital necesario para comenzar con el proyecto, su construcción y puesta en funcionamiento, en este caso, para las dos alternativas diseñadas. Para su análisis y estimación, se tuvieron en cuenta los costos asociados a las tareas de ingeniería civil básicas, como la limpieza del terreno, excavación y hormigonado, los costos de materiales, la adquisición e instalación de equipos y todo lo asociado a costos administrativos, legales y honorarios.

Para un mayor entendimiento y análisis de distribución de los costos, se diferenciaron los mismos entre las dos alternativas diseñadas, y a su vez en cada una de ella se fueron diferenciando distintos rubros o grupos de costos según fuera el caso. Se describen los de costos de inversión de la alternativa 1 (Tratamiento Fentón + Compost) en la Tabla XXXII y de la alternativa 2 (Estabilización + Relleno de seguridad) en la tabla XXXIII, presentadas a continuación.

La inversión inicial de la alternativa 1 es de USD 1.013.374, mientras que para la alternativa 2 este monto sube a USD 2.668.398. Ambos fueron estimados a partir de presupuestos solicitados a diversos proveedores y páginas web de compra online de equipamiento industrial.

TABLA XXXII: COMPUTO Y PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA 1.

Costo de obra							
Descripción	Costo unitario		Cantidad		Costo subtotal	Costo total	
<b>Preparación del terreno Tratamiento efluente</b>							
Limpieza y preparación del terreno	12,788	USD/gl	1	gl	12,788	USD	
Excavación para unidades	27	USD/m <sup>3</sup>	43.88	m <sup>3</sup>	1,185	USD	
Excavación para cañerías	12	USD/m <sup>3</sup>	50	m <sup>3</sup>	600	USD	
Armado y desarmado del obrador	4,747	USD/gl	1	gl	4,747	USD	
Impermeabilización y losa de base para unidades	25	USD/m <sup>2</sup>	38.13	m <sup>2</sup>	953	USD	
<b>Unidades de tratamiento</b>							
Provisión y colocación del sistema de rejillas	700	USD/u	1	u	700	USD	
Cámara de bombeo (hormigón)	40	USD/m <sup>3</sup>	0.85	m <sup>3</sup>	34	USD	
Tamiz estatico	11,500	USD/u	2	u	23,000	USD	
Tanque Fentón 1 (hormigón)	40	USD/m <sup>3</sup>	10.82	m <sup>3</sup>	433	USD	
Tanque Fentón 2 (hormigón)	40	USD/m <sup>3</sup>	4.49	m <sup>3</sup>	180	USD	
Sedimentador 1rio (hormigón)	40	USD/m <sup>3</sup>	18.42	m <sup>3</sup>	737	USD	
Canaleta de recolección	730	USD/u	1.00	u	730	USD	
Vertederos tipo Thompson	120	USD/u	7	u	840	USD	
<b>Eléctrico</b>							
Turbina tipo 1	1,305	USD/u	2	u	2,609	USD	
Bomba SLV.80.80 .11.4.50D.C	900	USD/u	2	u	1,800	USD	
Bomba DMH 100-10 B-PV	730	USD/u	1	u	730	USD	
Bomba DDA 7.5-16	710	USD/u	3	u	2,130	USD	
Sensor pH en línea	358	USD/u	2	u	716	USD	
<b>Sistema de conducción</b>							
Cañería PVC	10	USD/m	44	m	440	USD	
Cañería Inoxidable	12	USD/m	5	m	60	USD	
Codos 90°	25	USD/u	15	u	375	USD	
Codos 90° Inoxidable	28	USD/u	4	u	112	USD	
Tubo en T con salida lateral	23	USD/u	1	u	23	USD	
Tubo en T con salida lateral Inoxidable	25	USD/u	1	u	25	USD	
Válvula	40	USD/u	8	u	320	USD	
Válvula Inoxidable	45	USD/u	2	u	90	USD	
<b>Instalación eléctrica</b>							
Tablero	60	USD/u	2	u	120	USD	
Tendido eléctrico	20	USD/m	100	m	2,000	USD	
Sistema de automatización	4,000	USD/u	1	u	4,000	USD	
<b>Preparación del terreno Sistema de compostaje</b>							
Limpieza y preparación del terreno	12,788	USD/gl	1	gl	12,788	USD	
Impermeabilización de suelo con bentonita	15	USD/m <sup>3</sup>	216	m <sup>3</sup>	3,233	USD	
Hormigón de base + pileta	40	USD/m <sup>3</sup>	54	m <sup>3</sup>	2,160	USD	
Armado y desarmado del obrador	4,747	USD/gl	1	gl	4,747	USD	
Áreas administrativas	100	USD/m <sup>2</sup>	80	m <sup>2</sup>	8,000	USD	
Alambrado perimetral	10	USD/m	800	m	8,000	USD	
<b>Equipos</b>							
Volteador mecanico	7,667	USD/u	1	u	7,667	USD	
Sensor de temperatura	150	USD/u	15	u	2,250	USD	
Sensor de humedad en suelo	35	USD/u	15	u	525	USD	
Volquete	1,913	USD/u	6	u	11,480	USD	
Camión	30,000	USD/u	1	u	30,000	USD	
Camión sistema	30,001	USD/u	1	u	30,001	USD	
Bomba Grundfos modelo SLV.80.80 .11.4.50D.C	730	USD/u	1	u	730	USD	
Compactador de suelo	781,067	USD/u	1	u	781,067	USD	
<b>Varios</b>							
Ingeniería básica	1,000	USD/gl	1	gl	1,000	USD	
Ingeniería de detalle	2,500	USD/gl	1	gl	2,500	USD	
Infote técnico y plano según obra	700	USD/gl	1	gl	700	USD	
Licencias permisos y seguros	1,500	USD/gl	1	gl	1,500	USD	
Personal de obra para construcción	8	USD/h	800	h	6,400	USD	
Personal técnico especializado	7,000	USD/u	3	u	21,000	USD	
Supervisores	15	USD/h	800	h	12,000	USD	
Capacitaciones	500	USD/gl	1	gl	500	USD	
Limpieza final de obra	400	USD/gl	1	gl	400	USD	
Supervisión de puesta en marcha	15	USD/h	150	h	2,250	USD	
<b>Costo de obra total</b>						<b>1,013,374</b>	<b>USD</b>

TABLA XXXIII: COMPUTO Y PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA 2.

Costo de obra									
Descripción	Costo unitario		Cantidad		Costo subtotal		Costo total		
<b>Preparación del terreno</b>									
Limpieza y preparación del terreno	15,700	USD/gl	1	gl	15,700	USD			
Armado y desarmado del obrador	4,747	USD/gl	1	gl	4,747	USD			
Áreas administrativas	100	USD/m2	100	m2	10,000	USD			
Alambrado perimetral	10	USD/m	1,400	m	14,000	USD	44,447	USD	
<b>Muestras de caracterización</b>									
Instalación freaticómetros	1,633	USD/u	6	u	9,800	USD			
Muestreo suelo superficial	548	USD/u	27	u	14,792	USD			
Muestreo suelo profundidad	548	USD/u	72	u	39,444	USD			
Muestreo agua subterránea	330	USD/u	6	u	1,981	USD	66,017	USD	
<b>Estabilización de residuos</b>									
Impermeabilización y losa de base	25	USD/m2	300	m2	7,500	USD			
Galpón	100	USD/m2	300	m2	30,000	USD			
Mezclador tipo batch de cintas helicoidales	8,000	USD/u	1	u	8,000	USD			
Mezcladora de cemento eléctrica	1,142	USD/u	1	u	1,142	USD			
Moldes	35	USD/u	250	u	8,750	USD	55,392	USD	
<b>Construcción de capa inferior de módulos</b>									
Excavación del módulo	27	USD/m3	2,856	m3	77,112	USD			
Distribución y compactación de suelo-bentonita	107	USD/m3	381	m3	40,619	USD			
Instalación membranas y ensayos	73200	USD/u	1	u	73,200	USD			
Geomembrana de PEAD con espesor de 1500µ	153	USD/m2	2,285	m2	349,574	USD			
Geonet de 5 mm	30	USD/m2	2,285	m2	68,544	USD			
Geotextil de 200 gr/m2	50	USD/m2	2,285	m2	114,240	USD			
Piedra partida 16 a 32 mm	26	USD/m3	333	m3	8,752	USD	732,041	USD	
<b>Cañerías y bombas</b>									
Tubo de HDPE para chimeneas	720	USD/u	16	u	11,520	USD			
Tubo de PVC ranurado 50 mm	10	USD/m	384	m	3,840	USD			
Bomba Grundfos modelo SLV.80.80 .11.4.50D.C	730	USD/u	1	u	730	USD			
Tablero	60	USD/u	1	u	60	USD			
Tendido eléctrico	20	USD/m	100	m	2,000	USD	18,150	USD	
<b>Construcción de capa superior de módulos</b>									
Suelo vegetal (Arcilla)	107	USD/m3	714	m3	76,160	USD			
Suelo de protección	107	USD/m3	857	m3	91,392	USD			
Geotextil de 200 gr/m2	50	USD/m2	1,142	m2	57,120	USD			
Geonet de 5 mm	30	USD/m2	1,142	m2	34,272	USD			
Membrana HDPE esp. 0,51 mm	150	USD/m2	1,142	m2	171,360	USD	430,304	USD	
<b>Equipos y contenedores</b>									
Volquete	1,913	USD/u	6	u	11,480	USD			
Camión	30,000	USD/u	1	u	30,000	USD			
Bines de plástico	948	USD/u	10	u	9,484	USD			
Autoelevador	8,115	USD/u	2	u	16,230	USD			
Tractor topador mediano CAT	405,937	USD/u	1	u	405,937	USD			
Compactador de suelo	781,067	USD/u	1	u	781,067	USD	1,254,197	USD	
<b>Monitoreo Ambiental</b>									
Instalación freaticómetros	1,633	USD/u	12	u	19,600	USD	19,600	USD	
<b>Varios</b>									
Ingeniería básica	1,000	USD/gl	1	gl	1,000	USD			
Ingeniería de detalle	2,500	USD/gl	1	gl	2,500	USD			
Infome técnico y plano según obra	700	USD/gl	1	gl	700	USD			
Licencias permisos y seguros	1,500	USD/gl	1	gl	1,500	USD			
Personal de obra para construcción	8	USD/h	800	h	6,400	USD			
Personal técnico especializado	7,000	USD/u	3	u	21,000	USD			
Supervisores	15	USD/h	800	h	12,000	USD			
Capacitaciones	500	USD/gl	1	gl	500	USD			
Limpieza final de obra	400	USD/gl	1	gl	400	USD			
Supervisión de puesta en marcha	15	USD/h	150	h	2,250	USD	48,250	USD	
<b>Costo de obra total</b>							<b>2,668,398</b>	<b>USD</b>	

## 8.2 COSTOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONSUMO ENERGÉTICO

Para el análisis de los costos de operación y mantenimiento que requieren ambas alternativas diseñadas se consideraron distintos parámetros. Por un lado, los gastos propios del personal necesario para su operación (operativo, técnico y de supervisión) considerando que en la alternativa 1 ya se cuenta con personal operativo y de supervisión en la planta de tratamiento existente por lo que solamente se incorporó personal para la planta de compostaje. Por otro lado, se tuvieron en cuenta los costos asociados a la compra de insumos como productos químicos y agentes de carga y los costos de mantenimiento, documentación y otros variables que puedan surgir.

Por último, un punto importante a considerar para realizar el análisis económico de las alternativas planteadas es el consumo de energía y/o combustible Diesel que tendrán ciertos equipos como bombas, volteadores mecánicos, auto elevadores, entre otros. Además, es necesario conocer el precio de la energía, para poder estimar el costo de la operación asociado al consumo energético y de combustible. Este se obtuvo como referencia, a partir del simulador de consumo proporcionado por la empresa de distribución de energía eléctrica EDENOR estimando un valor en USD por kW consumido de 0,04 USD/kWh. Este valor es representativo y podría variar ya que, dada la ubicación del proyecto, la energía es producida por la misma empresa y los costos serían los internos para su generación.

En las tablas a continuación se describen los costos estimados para la operación, mantenimiento y consumo energético de las diferentes alternativas. El costo total anual asociado a la alternativa 1 (Tratamiento Fentón + Compost) es de USD 405.967 mientras que para la alternativa 2 (Estabilización + Relleno de seguridad) es de USD 249.150 es decir de 6.265 USD/m<sup>3</sup> de lodo y 3.845 USD/m<sup>3</sup> respectivamente. Estos costos fueron estimados a partir de presupuestos solicitados a proveedores de los insumos, consulta a profesionales y otros extraídos de páginas web.

TABLA XXXIV: COSTOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA ALTERNATIVA 1.

Costos de Operación y mantenimiento anual									
Descripción	Costo unitario		Cantidad		Costo subtotal anual		Costo total anual		
<i>Personal operativo</i>									
Personal operativo del sistema de compostaje x2	2,000	USD/mes	12	meses	24,000	USD			
Personal técnico del sistema de compostaje x2	2,604	USD/mes	12	meses	31,248	USD			
Chofer para transporte de lodos secos y efluente x2	2,200	USD/mes	12	meses	26,400	USD	81,648	USD	
<i>Insumos</i>									
Sulfato ferroso	650	USD/tn	24	tn	15,600	USD			
Peroxido de hidrogeno	30	USD/m <sup>3</sup>	3,215	m <sup>3</sup>	96,450	USD			
Hidroxido de sodio	380	USD/tn	48	tn	18,240	USD			
Ácido sulfurico	250	USD/tn	48	tn	12,000	USD			
Agente de carga	50	USD/tn	180	tn	9,000	USD			
Disposición de sólidos generados en el desbaste	450	USD/tn	8.29	tn	3,731	USD			
Caracterización de compost maduro	548	USD/mes	12	meses	6,574	USD	161,595	USD	
<i>Consumo energético</i>									
Bomba 1	0.04	USD/kWh	3.6	kWh	1,265	USD			
Bomba lixiviado	0.04	USD/kWh	1.5	kWh	527	USD			
Turbina tipo 1 tanque Fentón 1	0.04	USD/kWh	1.22	kWh	429	USD			
Turbina tipo 1 tanque Fentón 2	0.04	USD/kWh	1.22	kWh	429	USD			
Bomba lodos	0.04	USD/kWh	1.5	kWh	527	USD			
Bombas dosificadoras x3	0.04	USD/kWh	3.66	kWh	1,286	USD			
Camión movimiento lodos	0.70	USD/L	180	L	126	USD			
Compactador de suelo	0.70	USD/L	5300	L	3,710	USD			
Volteador mecánico	0.04	USD/kWh	44.7	kWh	15,706	USD	24,004	USD	
Costos de Mantenimiento, Administrativos y esporádicos									
Mantenimiento de equipos, administrativos y legales	11560	USD/mes	12	meses	138,720	USD	138,720	USD	
<b>Costo total anual</b>							<b>405,967</b>	<b>USD</b>	

TABLA XXXV: COSTOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA ALTERNATIVA 2.

Costos de Operación y mantenimiento anual									
Descripción	Costo unitario		Cantidad		Costo subtotal anual		Costo total anual		
<i>Personal operativo</i>									
Personal operativo x8	9,600	USD/mes	12	meses	115,200	USD			
Personal técnico de maquinaria x2	2,604	USD/mes	12	meses	31,248	USD			
Supervisor x2	4,084	USD/mes	12	meses	49,008	USD			
Chofer transporte de lodos secos hacia el relleno	1,200	USD/mes	12	meses	14,400	USD	209,856	USD	
<i>Insumos</i>									
Carbon activado	1100	USD/tn	3.57	tn	3,927	USD			
Cemento portland	176	USD/tn	93	tn	16,368	USD	20,295	USD	
<i>Consumo energético / gasoil</i>									
Mezclador tipo batch de cintas helicoidales	0.04	USD/kWh	2.25	kWh	791	USD			
Mezcladora de cemento eléctrica	0.04	USD/kWh	0.9	kWh	316	USD			
Bomba lixiviado	0.04	USD/kWh	1.5	kWh	527	USD			
Camión	0.70	USD/L	180	L	126	USD			
Autoelevador	0.70	USD/L	6048	L	4,234	USD			
Tractor topador mediano CAT	0.70	USD/L	7355	L	5,149	USD			
Compactador de suelo	0.70	USD/L	11225	L	7,858	USD	18,999	USD	
Costos de Mantenimiento									
Mantenimiento de equipos, administrativos y legales	14790	USD/mes	12	meses	177,480	USD	177,480	USD	
<b>Costo total anual</b>								<b>249,150</b>	<b>USD</b>

## CAPÍTULO 9: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se hará una comparación cualitativa de los aspectos más relevantes y representativos de las alternativas planteadas para seleccionar la más adecuada para el proyecto en cuestión. Estos criterios incluyen: La superficie ocupada, el costo de inversión inicial, el operativo y el de consumo energético, la facilidad para obtener los permisos asociados a cada alternativa, el impacto en la imagen de la empresa en relación con el proyecto y su grado de circularidad. En la tabla a continuación se puede observar el puntaje obtenido para cada alternativa.

TABLA XXXVI: COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DISEÑADAS.

Parámetros	Ponderación %	Alternativa 1	Alternativa 2
Superficie ocupada	10	4	3
Costo de inversión inicial	25	4	3
Costo operativo y consumo energético	25	3	4
Facilidad en obtención de permisos	25	4	3
Impacto en imagen de la empresa y circularidad	15	5	2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>3.9</b>	<b>3.1</b>

### Criterios de puntuación:

- 5 Muy bueno
- 4 Bueno
- 3 Regular
- 2 Malo
- 1 Muy malo

La superficie ocupada no es un aspecto definitorio en el caso de este proyecto por la extensión de terreno con la que cuenta la empresa, por lo que se le dio una ponderación del 10%. En el caso de la Alternativa 1 (Tratamiento Fentón + Compost) el área requerida es de 800 m<sup>2</sup> en el predio que se encuentra cerca del pueblo de Piran y de 50 m<sup>2</sup> en el campamento, donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento existente. En el caso de la segunda alternativa (Estabilización + Relleno de seguridad) este valor aumenta a 1.300 m<sup>2</sup>, motivo por el cual se le dio un puntaje más bajo que a la primera alternativa.

Al costo de inversión inicial se le dio una ponderación del 25% sobre el total de los aspectos dado que tiene un gran impacto económico y financiero para una empresa, pudiendo tener consecuencias secundarias tales como solicitud de préstamo para solventarla o necesidad de priorizarlo ante otros proyectos. Como se vio en el capítulo anterior, la alternativa 1 tiene un costo de inversión inicial de USD 1.013.374, que es un 156% menor que la alternativa 2 en donde el monto sube a USD 2.668.398. Motivo por el cual a la alternativa 1 se le otorgó un puntaje de 4 y a la alternativa 2 un puntaje de 3. En el caso del costo de operación, mantenimiento y consumo energético, también se le dio una ponderación del 25%, pero en este caso la alternativa 2 obtuvo un puntaje mayor al de la alternativa 1 dado que su costo es un 60% menor. De elegir la alternativa 2 en lugar de la alternativa 1, el costo de inversión inicial se repagaría en 10 años considerando el ahorro en los costos de operación, mantenimiento y consumo energético, esto equivale a la mitad de la vida útil total del proyecto.

Por otro lado, dado que ambas alternativas son igual de eficientes en términos de solución del problema y que la diferencia en su naturaleza no permite comparar sus parámetros operativos, se decidió comparar dos aspectos que son primordiales para una empresa a la hora de encarar un proyecto ambiental, que son la facilidad para obtener los permisos ambientales que permitirán la realización del proyecto, el impacto en la imagen de la empresa a razón del proyecto elegido y la circularidad del mismo en términos de aprovechamiento de los recursos. Esto último puede impactar positiva o negativamente en la relación de la empresa con la comunidad.

Al primer aspecto mencionado se le dio una ponderación del 25% dado que sin los permisos ambientales correspondientes no es posible iniciar el proyecto. En el caso de la alternativa 1, si bien se va a agrandar la planta de tratamiento existente, esto significa que solo es necesario renovar los permisos existentes de vuelco y tratamiento de efluente, mencionando las nuevas tecnologías sin necesidad de iniciar un trámite desde cero. Por otro lado, será necesario conseguir los permisos para la operación de la planta de compostaje, este tipo de tratamiento es de baja complejidad ambiental por lo que conseguir su permiso no suelen ser complicado. Es por este motivo que a la alternativa 1 se le otorgó un puntaje de 4. En el caso de la alternativa 2, el emplazamiento de un relleno sanitario de seguridad en el predio implica la aprobación de la Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto y el otorgamiento de la Declaración de Impacto Ambiental, trámite que suele ser más largo y puede ser rechazado en instancia de participación ciudadana durante la audiencia pública, es por ello que se le otorgó un puntaje de 3.

Finalmente, al aspecto de impacto en la imagen de la empresa y circularidad del proyecto se le dio una ponderación del 15%. En el caso de la alternativa 1, si bien se tiene un alto consumo de químicos debido al proceso de oxidación Fentón, el compostaje de los lodos finales permite disminuir en un gran porcentaje los residuos finales del tratamiento de los efluentes y permite tener un biosólido con características tales que sirve para ser utilizado en proyectos con la comunidad afectada al proyecto, es por eso que se le dio el puntaje más alto. En el caso de la alternativa 2, si bien el relleno sanitario de seguridad diseñado cuenta con todas las medidas de seguridad y la última tecnología en cuanto a disposición controlada de residuos peligrosos, estos proyectos suelen tener un impacto negativo en la sociedad. Además de que no permiten aprovechar los recursos que se están enterrando y en la actualidad ya no se considera una tecnología sustentable para el manejo de residuos peligrosos. Cada vez más se cree que solo deberían enterrarse aquellos residuos para los cuales no hay otra solución, de haber otro método de manejo de los residuos debería priorizarse este. Es por ello, y por todos los aspectos analizados anteriormente, que se elige la alternativa 1 de tratamiento Fentón y compostaje de los lodos finales.

## CAPÍTULO 10: PLANOS

Los planos de ingeniería básica de la planta de tratamiento diseñada son enumerados a continuación y se presentan en el Anexo 10.

- Plano N°1: Planta General
- Plano N°2: Sistema de rejas
- Plano N°3: Tanque Fentón
- Plano N°4: Tanque pH
- Plano N°5: Sedimentador primario
- Plano N°6: Perfil Hidráulico
- Plano N°7: Área de compostaje

## CAPÍTULO 11: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Se desarrolla a continuación el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) de las etapas de construcción, instalación, puesta en marcha, mantenimiento y cierre de la Planta de Tratamiento de Efluentes Líquidos y compostaje de lodos del campamento de la mina.

El objetivo es evaluar las condiciones ambientales del entorno donde se desarrolla el proyecto y analizar su incidencia en el ambiente físico, biológico y socioeconómico en su etapa de construcción, operación y cierre a fin de prever los potenciales impactos y diseñar así un Plan de gestión Ambiental (PGA) que permita incorporar las medidas adecuadas

de prevención, mitigación, gestión y monitoreo para garantizar un correcto manejo ambiental del proyecto. Siguiendo la normativa nacional y provincial vigente en la materia y aplicable en el área de estudio, con el propósito de optimizar desde el punto de vista ambiental, aquellos componentes que fueran pertinentes y obtener las correspondientes aprobaciones y autorizaciones de las diversas autoridades de aplicación y control involucradas.

### 11.1 METODOLOGÍA

El Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) cuenta con una primera etapa de recopilación y análisis de información. Se comienza analizando la normativa aplicable con el fin de explicar el contexto legal en el cual se enmarca el proyecto, como esta etapa ya se desarrolló en el capítulo 4, no se volverá a desarrollar en este capítulo.

A continuación, se realizará una descripción de cada una de las etapas del proyecto a desarrollar y las actividades de cada una de ellas. Luego, se procederá a evaluar el área de influencia del mismo, el cual involucra las delimitaciones y aspectos relevantes a tener en cuenta. Finalmente, se realizará la línea de base ambiental, la metodología utilizada para este análisis se basa en la búsqueda de antecedentes de la zona en la que se encuentra ubicado el predio y su área de influencia directa, para estudiar las características físicas, biológicas y socioeconómicas.

La segunda etapa consistirá en la identificación y ponderación de los impactos más significativos (positivos o negativos) a ser tenidos en cuenta, los que son el resultado de la incidencia en el ambiente de aquellas acciones del Proyecto en sus distintas etapas. Para realizar esto se utilizó la matriz de Leopold.

Finalmente, se desarrollará un Plan de Gestión Ambiental con medidas 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.

### 11.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto propuesto consiste en la construcción y operación de una extensión para la planta de tratamiento de efluentes líquidos existente en el campamento de la mina. Además, se construirá y operará un sistema de compostaje de los lodos generados. Este proyecto surge de la necesidad de generar una solución a la acumulación de lodos con carácter peligroso resultantes del tren de tratamiento existente en la mina.

El tratamiento diseñado para el proyecto consta de una serie de operaciones unitarias, con las cuales se busca disminuir la concentración de fenoles en el efluente que se encuentran por encima de los valores máximos permitidos por la normativa que aplica.

La planta existente se encuentra ubicada en las inmediaciones del campamento y junto a esta se emplazará el tren de tratamiento diseñado. Por el contrario, el sistema de compostaje de lodos se emplazará en el predio logístico que se encuentra en las cercanías del pueblo de Piran. La ubicación geográfica de ambos se puede observar en la figura 12 y 22 del capítulo 6.

El campamento que tiene en la mina genera un efluente doméstico de 1000 m<sup>3</sup>/d que posee alta concentración de fenoles. Actualmente este efluente es tratado en una planta de tratamiento que tiene unidades biológicas aerobias y anaerobias que permiten la degradación de los compuestos orgánicos. Sin embargo, estas unidades no logran disminuir la concentración de compuestos fenólicos lo suficiente, teniendo así alta concentración de estos en los lodos resultantes del proceso. Para ello, se diseñó un tren de pretratamiento que permita mejorar el tratamiento existente y disminuir la concentración de Fenoles en el líquido. Este cuenta con las siguientes unidades, 2 Rejas en paralelo; Cámara de bombeo; 2 Tamices estáticos en paralelo; 2 Tanques para la oxidación/precipitación Fentón y un Sedimentador primario. Además, se decidió añadir un sistema de compostaje de los lodos finales para que estos puedan ser reutilizados como compost.

La planta de compostaje contará, además, con un área de oficinas administrativas y sala de control desde donde se monitorearán los parámetros del proceso y un galpón para guardado de maquinaria y materiales. En el caso de la planta de tratamiento Fentón, se utilizarán las instalaciones existentes y se construirá un área de almacenamiento de los químicos a utilizar durante el proceso que cumpla con todas las normas de seguridad correspondientes.

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

---

### 11.2.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

En la etapa de construcción se realizará el emplazamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos y de compostaje de los lodos, dentro del predio del campamento y del predio en las cercanías del pueblo de Piran. El tiempo estimado de la etapa de construcción será de aproximadamente unos seis meses, basado en información existente de proyectos realizados con características similares.

La etapa de construcción consta, por un lado, de la preparación del terreno y por otro, de la construcción e instalación de la planta en cuestión. El terreno donde se emplazará la planta de compostaje actualmente es un descampado de 800 m<sup>2</sup>, perteneciente a la empresa minera. En el caso de la planta de tratamiento, el terreno se encuentra nivelado ya que es parte de la planta de tratamiento actual.

Las actividades previstas para la etapa en cuestión son en una primera instancia el desmantelamiento y nivelación del terreno. En esta etapa se realizará el trazado y se preparará el terreno construyendo los cimientos para el posterior armado de las diferentes unidades y la casilla para el tablero eléctrico. En esta actividad se prevé el transporte y utilización de materiales de construcción. Se prevé también tener una escombrera para almacenar los residuos generados durante la obra.

Luego se implantarán los soportes estructurales, es decir, el montaje de los cimientos necesarios para la instalación de las unidades y la posterior construcción e instalación de las distintas unidades operativas de la planta, tanto del tratamiento como de almacenaje. Así como la instalación de recinto cerrado para la sala de control y operación. Una vez

instaladas todas las unidades, se instalarán las cañerías, válvulas y accesorios, y estructuras especiales como las placas con vertederos y canaletas colectoras. Aunque todas las estructuras llegan al lugar pre-armadas, esta actividad también implica el uso de herramientas de corte y soldado, entre otras. Finalmente se realizará la instalación eléctrica necesaria para alimentar a todo el equipamiento electromecánico y se instalarán los equipos: Tablero eléctrico, Agitadores en los reactores Fenton y cámara de ajuste de pH, bombas y sensores de pH.

Para la puesta en marcha de la planta se realizarán en primer lugar pruebas hidráulicas y testeos de equipos para las cuales se prevé el uso de una gran cantidad de agua. Además, se realizará la puesta a punto de la operación en donde se dará inicio al tratamiento del efluente. Para ello, será necesario comenzar a manipular los insumos químicos y la recepción de agente de carga para el compostaje de los lodos.

---

### 11.2.3 ETAPA DE OPERACIÓN

La operación de la planta de tratamiento incluye el consumo de 268 m<sup>3</sup> de peróxido de hidrógeno, 2 tn de sulfato ferroso y 4 tn hidróxido de sodio y de ácido sulfúrico mensualmente. Por su parte la operación de la planta de compostaje tiene un consumo de 15 tn de agente de carga. Además, ambas tienen un consumo eléctrico estimado de 59.1 KWh al mes y un consumo de combustible de 457 l.

Cómo consecuencia de la operación de la planta se generarán 9 kg mensuales de sólidos provenientes del sistema de desbaste que se gestionará como residuo para su disposición final y se volcarán mediante infiltración al suelo un caudal de efluente tratado constante de 1000 m<sup>3</sup>/día. 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 y la gestión de los residuos producidos. Además, 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 por infiltración, controles de los diferentes parámetros en el compost, así como también análisis de los biosólidos finales.

---

### 11.2.4 ETAPA DE CIERRE

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.

### 11.3 LOCALIZACIÓN

El Proyecto se ubica en la parte noroeste de Argentina, en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, limítrofe con Chile. Administrativamente se localiza en el Departamento de Iglesia, en la parte noroeste de la Provincia de San Juan, a una distancia aproximada de 374 km, por camino, al noroeste de la ciudad de San Juan, y entre los 3.800 y 5.000 m s.n.m.

El acceso al área del proyecto se logra a través de caminos públicos hasta la zona denominada Peñas y luego por el Camino Minero existente, que comienza en Piran en la Provincia de San Juan, cuyas concesiones y servidumbres cuentan en poder de la minera. Este camino tiene una extensión de 155 km y desde Piran continúa hacia el noroeste, atravesando los llanos de Conconta, con pendiente moderada hasta llegar a la zona denominada Peñasquito, donde se ubica un Puesto de Gendarmería.

Desde el lugar denominado Peñasquito, siempre con rumbo noroeste, se atraviesa la Cordillera del Colangüil, por el denominado Portezuelo de Conconta (4.980 m s.n.m.), para descender hacia el oeste hasta el Valle del Cura, continuándose bordeando el Río del Valle del Cura, por su margen este hasta llegar a la confluencia con el Río Blanco. En el Valle del Cura, aguas arriba de la confluencia con el Río Blanco se encuentra un destacamento de Gendarmería Nacional, en la zona denominada Sepultura.

Desde la confluencia de los ríos mencionados, el camino asciende nuevamente al noroeste, bordeando el cauce del Río Blanco hasta su nacimiento, correspondiente al punto de confluencia de los Arroyos del Gollete y del Zancarrón, en el kilómetro 164. Desde la confluencia antes señalada, se continúa hacia el noroeste, bordeando el Arroyo del Gollete, se atraviesa la Cordillera de la Brea por el Portezuelo de Los Despoblados, para descender hasta la nacimiento del Arroyo de los Despoblados, continuándose bordeando el Arroyo de los Despoblados hasta llegar a su confluencia con el Río de Las Taguas.

### 11.3 ÁREA DE INFLUENCIA

El área de influencia se enmarca en función de dos conceptos: área de influencia directa y área de influencia indirecta.

El área de influencia directa corresponde al área donde se emplazarán todas las obras del Proyecto o donde se ejecutarán actividades (tales como el transporte). Incluye el emplazamiento de la planta de tratamiento, la planta de compostaje, edificios de administración e instalaciones auxiliares. Incluye, además, el Camino Minero en cuanto a la actividad de transporte de personal, lodos, residuos, equipos e insumos. Incorpora los conceptos del área de sacrificio en los emplazamientos de las obras, y también el área de amortiguación afuera de estas.

El área de influencia indirecta corresponde a las áreas que podrían estar afectadas por las obras o actividades del Proyecto, aun cuando no corresponden al área de emplazamiento de ellos. En adición, al área demarcada por el área de influencia indirecta del Proyecto, incluye las quebradas de los Ríos de Las Taguas, Valle del Cura, de La Palca y Río Blanco. También se incluyen las localidades y ciudad del estudio socioeconómico (las localidades de los Departamentos

de Iglesia, Jáchal y la ciudad de San Juan). En la figura a continuación se muestra el área de influencia determinada para el Proyecto.

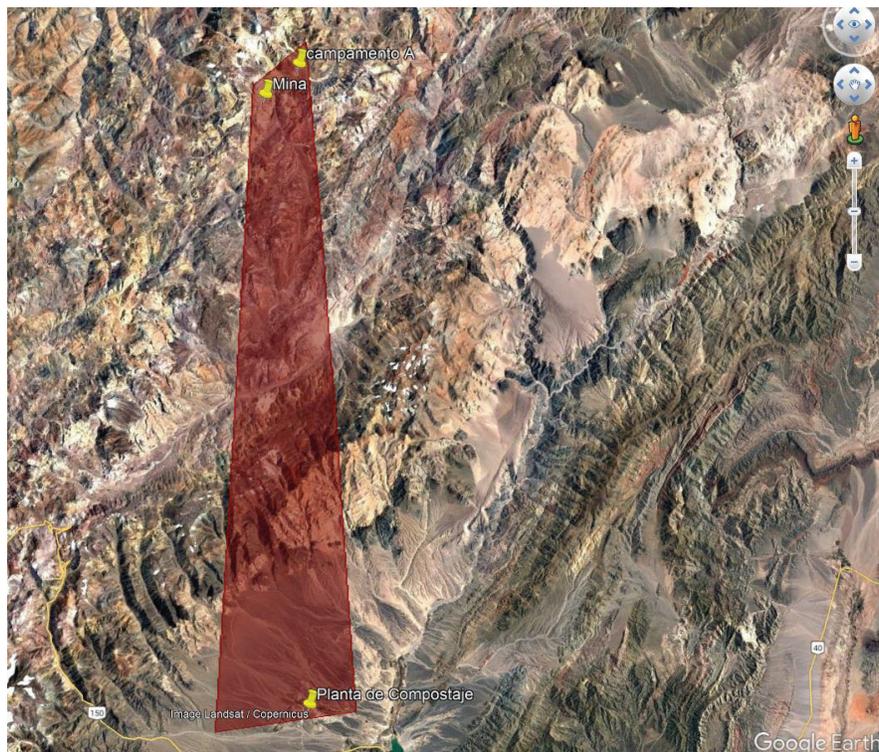


FIGURA 35: ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO

#### 11.4 LÍNEA DE BASE AMBIENTAL

A continuación, se analizarán las condiciones del área de influencia, en cuanto a las características meteorológicas, biológicas, hidrológicas, geomorfológicas y socioeconómicas, previas a la implantación del proyecto.

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.

##### 11.4.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN

El siguiente informe presenta una recopilación de los datos meteorológicos disponibles en el área del Proyecto. Los datos se recopilaban a partir de la Evaluación de Impacto Ambiental del Proyecto (Piésold, 2003). Los datos incluidos en este informe se obtuvieron de cinco estaciones VM-1, VM-3, SML-1, SM-1 y SML-2.

<b>Nombre de la Estación</b>	<b>Elevación</b>
Lama (SML-1)	3.958 m
Despoblados (SML-2)	3.965 m
Campamento Veladero (VM-1)	3.860 m
Quebrada Potrerillos (VM-3)	4.200 m
Frontera (SM-1)	4.927 m

FIGURA 36: NOMBRE DE LAS ESTACIONES UTILIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA EN LA ZONA DEL PROYECTO

El emplazamiento del Proyecto se enclava en una región caracterizada por un clima andino árido, donde las precipitaciones, en su mayoría, adoptan forma de nieve durante el período invernal (de mayo a octubre). Durante estos meses, las temperaturas pueden descender hasta los  $-30^{\circ}\text{C}$ . El verano se caracteriza por su sequedad, con temperaturas que pueden alcanzar los  $25^{\circ}\text{C}$ . La temperatura promedio mensual presenta un patrón cíclico, oscilando alrededor de  $0^{\circ}\text{C}$  de mayo a septiembre y ascendiendo a aproximadamente  $10^{\circ}\text{C}$  de octubre a febrero, antes de volver a descender. Enero y febrero representan los meses más cálidos, mientras que junio y julio se erigen como los más fríos. A lo largo del año, se observan notables fluctuaciones en las temperaturas diurnas, con diferencias extremas que alcanzan hasta  $25^{\circ}\text{C}$  en verano y hasta  $45^{\circ}\text{C}$  en invierno.

La tasa de evaporación exhibe un patrón estacional, con aproximadamente 100 mm/mes a comienzos de la primavera y un pico de alrededor de 155 mm/mes en primavera-verano. En invierno, las tasas de evaporación se mantienen relativamente uniformes, aproximándose a los 50 mm/mes.

En consonancia con la altitud de la ubicación del Proyecto, los valores de radiación solar promedio mensual son significativamente elevados durante el verano, alcanzando un máximo cercano a  $0,4 \text{ kW/m}^2$ , mientras que en julio el valor promedio mínimo mensual ronda los  $0,15 \text{ kW/m}^2$ . Durante el verano, los picos de radiación solar llegan a  $1,3 \text{ kW/m}^2$ , mientras que en invierno se mantienen en torno a los  $0,8 \text{ kW/m}^2$ .

La velocidad media mensual más elevada se registró en la estación SM-1, superando en general en un 30% a las demás estaciones y aumentando ocasionalmente hasta un 50% más. Dichas velocidades oscilaron entre 5 m/s y más de 13 m/s. VM-3, por otro lado, presentó las velocidades promedio mensuales más bajas, con valores que variaron entre 3,6 y 5,3 m/s. Las disparidades en las velocidades del viento se atribuyen con alta probabilidad a la ubicación de las estaciones, ya que los cambios en las velocidades del viento se ven influidos por las condiciones topográficas. En todas las estaciones, las velocidades máximas instantáneas del viento, registradas cada hora, alcanzaron hasta cinco veces el promedio mensual, a menudo superando los 20 m/s.

En cuanto a la dirección del viento predominante, en las estaciones SML-2, VM-1, VM-3 y SM-1, esta se ubica en el noroeste (NO), mientras que en SML-1 adopta una dirección oeste-noroeste (ONO). VM-1 exhibe, además, un componente significativo hacia el este-sureste (ESE), posiblemente influenciado por su ubicación en el valle del Río de Las Taguas, que se extiende en una dirección NO-SE. SML-2 también presenta una variación en los patrones de

dirección del viento, con un ligero componente de dirección norte-noreste (NNE) y sureste (SE). VM-3 registra la gama más amplia de direcciones del viento, con predominio de la dirección noroeste (NO) y nor-noroeste (NNO). La dirección del viento más constante se encuentra en SM-1. Los vientos NO y NNO en VM-1 suelen superar los 6 a 8 m/s, mientras que los vientos ESE y SE generalmente son inferiores a 2 m/s.

---

#### 11.4.2 GEOMORFOLOGÍA

A continuación, se describe la geomorfología que caracteriza el área de influencia directa del Área Mina-Planta del Proyecto. Los datos se extraen de un análisis exhaustivo llevado a cabo en el marco del Informe de Impacto Ambiental correspondiente al proyecto minero (Piésold, 2003).

La caracterización geomorfológica revela que el área del Proyecto y sus zonas circundantes exhiben una predominancia de geoformas vinculadas a un entorno actual de tipo periglaciario, que modifica un paisaje glaciario previo. En este contexto, es evidente la presencia de fenómenos gravitacionales, tales como deslizamientos, solifluxión, caídas de rocas y detritos, a menudo facilitados por los efectos del congelamiento y descongelamiento estacional del permafrost subyacente, así como las pronunciadas pendientes topográficas de la región. Asimismo, se observan masas deslizadas, superficies de arranque, taludes y conos de derrubio, campos de bloques, lóbulos de solifluxión y derrubios con solifluxión, principalmente, como resultado de la influencia de la gravedad.

El hielo se posiciona como el agente morfogenético preponderante en esta región del Proyecto, situada en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, a altitudes que fluctúan entre los 3.720 y 5.380 metros sobre el nivel del mar.

El relieve de la zona estudiada se caracteriza por su proximidad a la línea de cuenca fronteriza, y su altitud se correlaciona con las cotas de la Cordillera de Los Andes en esta latitud, teniendo en cuenta que la altitud del cordón andino disminuye de norte a sur. Desde la cuenca internacional hacia el este, las cotas no muestran una disminución sustancial. Estas cotas varían entre los 4.000 metros en el fondo de los valles y los 5.000 metros en la frontera. La amplitud del relieve supera ligeramente los 1.200 metros, lo que puede considerarse característico de una región montañosa. El relieve se describe en relación con los principales ejes fluviales, que ocasionalmente dan lugar a interfluvios correspondientes a cadenas montañosas menores con disposición subparalela.

La geomorfología de la región emerge como un reflejo del paisaje andino, esculpido sobre una geografía predefinida por la estructura tectónica. Las unidades geomorfológicas presentadas han sido clasificadas en Rocas, Geoformas por Gravedad, Geoformas Glaciares, Geoformas Fluviales, Otras Geoformas y Lineamientos, las cuales se describen de la siguiente manera:

**Rocas:** Esta unidad comprende todos los afloramientos rocosos, sin discriminar según la litología presente. Engloba todas las rocas de la secuencia volcánica y brechas de diversas edades que se encuentran en el proyecto y sus áreas circundantes.

**Geoformas por Gravedad:** Constituyen la unidad predominante en la actualidad y son el agente geomorfológico más activo. Se identifican las siguientes subunidades:

**Deslizamientos:** Incluyen todas las masas deslizadas, sin distinción de materiales (roca o derrubios), tipología, tamaño o período de formación.

**Conos de Derrubios:** Compuestos por material heterogéneo depositado debido a la acción de la gravedad, caracterizado por fragmentos de diversos tamaños, desde bloques hasta arena, sin selección ni gradación.

**Taludes de Derrubios:** Resultan de la coalescencia de conos de derrubios, por lo que sus depósitos presentan las mismas características granulométricas y texturales que los conos de derrubios.

**Derrubios:** Esta unidad, de gran desarrollo en el área del proyecto, consiste en material arenoso y limoso abundante, con una menor proporción de gravas. En algunas áreas, se observan cristales milimétricos de yeso, sin estratificación ni gradación evidentes. En varios sectores, se presentan glaciares de roca.

**Caída de Rocas:** Está cerca de los afloramientos rocosos de relieve abrupto, facilitando el desprendimiento y caída de bloques grandes, a veces formando extensos campos de bloques.

**Bordes de Arranque (cicatrices de desprendimiento):** Comprende todas las superficies desde las cuales ha podido desprenderse o deslizarse roca o derrubio.

**Geoformas Glaciares:** Aunque la actividad glacial actual es inexistente en el área del Proyecto, en un pasado reciente, esta fue un agente modelador de gran relevancia. Se conservan importantes acumulaciones de tres niveles de morenas en los ríos de Las Taguas, Turbio y Potrerillos, así como en los arroyos de Los Despoblados, Canito y Turbio, además de amplios valles glaciales a lo largo de estos cursos de agua. Los tres niveles de morena se caracterizan por depósitos glaciales caóticos, sin estratificación ni gradación, compuestos por grandes bloques y material limo-arenoso y gravas. En algunos sectores, se aprecian afloramientos rocosos con una delgada capa de derrubios que presentan superficies lobuladas, típicas de la acción glacial, y que se han incorporado dentro de la morena asociada espacialmente.

**Geoformas Fluviales:** Se identifican dos tipos de geoformas fluviales:

- Aluviones: Comprenden los depósitos que conforman las planicies de los cursos de agua, caracterizados por su alta energía y origen glaci-fluvial. En el área del Arroyo de Los Despoblados, se reconocen dos niveles diferentes de estos depósitos, siendo el nivel más antiguo cortado por el nivel más reciente. En el sector del Río y Arroyo Turbio, los aluviones se encuentran cementados con óxidos de hierro y, posiblemente, sílice, lo que les confiere una gran resistencia.

- Terrazas: En terreno, se distinguen dos niveles de terrazas, siendo el nivel más alto topográficamente posiblemente resultado del represamiento sufrido por el Río de Las Taguas en su confluencia con el Arroyo del Guanaco Zonzo, debido a un deslizamiento que represó el cauce del Río de Las Taguas. Este nivel más antiguo se cementa con carbonato de calcio.

#### Otras Geoformas:

Vegas: Esta unidad incluye únicamente las vegas actuales, que constituyen zonas con vegetación, en donde el nivel freático se encuentra muy cerca o en la superficie.

Glaciares: Engloba las masas de hielo presentes en el área del mapa geomorfológico, aunque la mayoría de ellas no alcanza la dimensión de un glaciar propiamente dicho.

---

### 11.4.3 HIDROLOGÍA

Esta sección presenta descripciones resumidas de la caracterización de línea base de los recursos de agua superficial y subterránea en el área de influencia del Proyecto la información fue tomada del Estudio de Impacto ambiental realizado por la empresa para el proyecto minero (Piésold, 2003). El Río de Las Taguas es el principal río en el área del Proyecto y sus nueve cuencas que tributan a este en el área de estudio. Se identifican dos cuencas adicionales, Río Valle del Cura y Río Jáchal. A continuación, se presenta una descripción resumida de estas cuencas.

El Río de Las Taguas se origina a una altura de aproximadamente 4.400 m cerca del límite argentino-chileno, cubriendo un área de 155 km<sup>2</sup>. Y confluye con el Arroyo de Los Despoblados, cerca de los Baños de Los Despoblados, y sigue con orientación noroeste.

El Arroyo de Los Despoblados, con un área de aproximadamente 243 km<sup>2</sup>, es la mayor cuenca en las cabeceras del Río de Las Taguas. Existen dos tributarios principales en la cuenca, uno que drena la parte norte más pequeña de la cuenca, y el otro que drena en una zona extensa hacia el sur. Estos tributarios confluyen a aproximadamente 5 km aguas arriba del Río de Las Taguas. Un tercer tributario menor drena un área de vertientes de agua caliente en la parte suroeste de la cuenca.

La cuenca del Arroyo del Guanaco Zonzo, cubre un área de aproximadamente 39 km<sup>2</sup>. Esta cuenca es tributaria de la cuenca del Río de Las Taguas Bajo, aguas abajo de la cuenca del Río de Las Taguas Alto, y aguas arriba de la cuenca del Río Potrerillos.

El Río Potrerillos se ubica aproximadamente a 3 km aguas abajo del Arroyo del Guanaco Zonzo. Este desemboca en el Río de Las Taguas y drena la mayor parte del sector sur del área del yacimiento. La cuenca del Río Potrerillos, ubicada inmediatamente al norte y adyacente a la cuenca del Arroyo del Guanaco Zonzo, cubre aproximadamente 27 km<sup>2</sup>.

La cuenca del Arroyo Canito, adyacente a la cuenca del Río Potrerillos, cubre un área de aproximadamente 25 km<sup>2</sup>. El Arroyo Canito fluye hacia el noreste desembocando en el Río Turbio. Este Arroyo es alimentado por tributarios con aguas provenientes de glaciares.

Una cuenca importante es la del Río Turbiol, la cual se divide en dos sub-cuencas, una denominada Arroyo Turbio, y otra llamada Río Turbio. La cuenca del Arroyo Turbio tiene un área de aproximadamente 27 km<sup>2</sup>. La contribución total combinada de la cuenca del Río Turbio, incluyendo el aporte del Arroyo Canito, es de 56 km<sup>2</sup>.

El área de la sub-cuenca baja del Río de Las Taguas incluye la sección de la cuenca desde justo debajo de la confluencia con el Arroyo de Los Despoblados hasta justo debajo del Arroyo de Los Amarillos. Varios tributarios menores alimentan al Río de Las Taguas aguas abajo del Arroyo de Los Amarillos, incluyendo el Río de La Sal.

El Río de Las Taguas continúa por varias decenas de kilómetros hacia el norte, uniéndose con el Arroyo de Las Yaretas, el Arroyo del Soberado, y el Arroyo de los Tambillos, antes de girar hacia el este y continuar hacia el sur. El Río de Las Taguas recibe caudal del Río Valle del Cura, convirtiéndose en ese punto en el Río de La Palca.

La Cordillera del Zancarrón forma una importante cuenca de drenaje, con la cuenca del Río de Las Taguas. Esta cuenca adyacente se llama Valle del Cura, y tiene una superficie de unos 2.500 km<sup>2</sup>. El principal río en esta cuenca se denomina Río Valle del Cura.

Aproximadamente 50 kilómetros aguas abajo de la confluencia con los Ríos de Las Taguas y Valle del Cura, el Río de La Palca desemboca en el Río Blanco. El Río Blanco recibe el nombre de Río Jáchal aguas abajo del dique Cuesta del Viento. Dicho dique se usa para recreación, generación de energía y almacenamiento para regadío. En el Dique Pachimoco, ubicado sobre el Río Jáchal aproximadamente 200 km aguas abajo del Proyecto, el caudal es distribuido para riego. La cuenca de drenaje de los Ríos de La Palca-Blanco-Jáchal, por encima de este desvío, cubre aproximadamente 23.000 km<sup>2</sup>.

En cuanto a toda el área del proyecto, los caudales son estacionales. El caudal máximo de corriente se produce en los meses de primavera cuando ocurre el mayor derretimiento de nieve, y es menor en el período que abarca verano e invierno, cuando el derretimiento de nieve ya ha finalizado. La excepción a esto está dada por las cuencas que contienen glaciares. En esas cuencas la tasa de caudal crece nuevamente a fines del verano cuando las temperaturas son altas y los glaciares se derriten. En las cuencas que no son afectadas por el deshielo de glaciares, las tasas de caudal son uniformes, ya que las corrientes las sostienen fuentes subterráneas durante el verano y hasta fines del período invernal. Las tasas de flujo de corriente alcanzan un nivel caudal base durante este período.

#### Agua Subterránea Aluvial

Puede hallarse agua subterránea en materiales aluviales, fluvio-glaciales y de morenas depositados en el piso de los valles, y en materiales coluviales desarrollados en las laderas de los valles. Las condiciones del agua subterránea pueden ser confinadas o no confinadas, dependiendo de la estratigrafía local. Muchos de los sedimentos en los drenajes principales están compuestos de material de grano grueso y es probable que prevalezcan las condiciones no confinadas. La ocurrencia de materiales de grano fino, tales como lentes y capas de arcilla, puede producir condiciones confinadas de manera local. Los principales mecanismos de recarga de los sistemas de agua subterránea aluvial son la infiltración directa de precipitaciones y la infiltración de agua superficial a través de la base de los canales.

Se pueden identificar dos tipos de unidades aluviales:

- Depósito aluvial de alta permeabilidad, que consiste en materiales aluviales, coluviales y glaciales de los valles. El depósito aluvial de alta permeabilidad constituye la principal unidad de flujo y almacenamiento de agua subterránea.
- Depósito aluvial de baja permeabilidad, que se encuentra en morenas en los márgenes de los valles. El agua subterránea está a mayor profundidad en sedimentos más consolidados, en vez de en los pisos de los valles. El depósito aluvial de menor permeabilidad constituye una unidad secundaria de flujo y almacenamiento de agua subterránea.

#### Agua Subterránea de la Roca de Fondo

El agua subterránea se encuentra en la roca de fondo donde la fractura es suficiente para permitir que haya un flujo y almacenamiento significativo. La fracturación tiende a estar concentrada en los valles principales. Se puede identificar un sistema de la roca de fondo permeable en la cuenca del Arroyo Canito. Los acuíferos de roca fracturada se caracterizan por su baja porosidad efectiva, y baja permeabilidad de matriz. El flujo de agua subterránea se da sobre todo dentro de las fracturas.

Los acuíferos de la roca de fondo pueden recibir recarga directamente de las precipitaciones, el caudal de la corriente, o la cubierta aluvial. Existen condiciones no confinadas en las partes altas de una cuenca, donde el acuífero es recargado. Las condiciones confinadas ocurren en la base de la cuenca, donde el acuífero descarga hacia la cubierta aluvial o directamente hacia las vertientes y corrientes. Existen sistemas de flujo encaramados en la roca de fondo local, caracterizados por niveles de aguas discontinuas que descargan a surgentes y vertientes aisladas sobre las cuencas principales de drenaje. La recarga, el flujo y la descarga ocurren en redes localizadas de fractura desconectadas del sistema principal de agua subterránea.

---

#### 11.4.4 FLORA Y FAUNA

Para la caracterización de la flora y fauna se utilizaron también los estudios realizados por la empresa para la evaluación de impacto ambiental del proyecto minero (Piésold, 2003).

Agrupando a nivel general la flora, vegetación y fauna de vertebrados terrestres, la zona de estudio del Área Mina se diferencia solamente en dos grandes agrupaciones o “Comunidades”. La comunidad de las vegas y ambientes acuáticos, caracterizada por una alta riqueza de especies de fauna y flora, una alta cobertura vegetal (entre 45% a 80%), con presencia de especies exclusivas de dicha agrupación, como en el caso de las siguientes especies de aves: Guayata, Pato Crestón, Pato Barcino, Gallareta Cornuda, Chorlito Serrano, Gaviota Andina, Remolinera Chica y Sobrepuesto Andino. En el caso de la flora, de 69 especies registradas en toda la zona de estudio, el sector de vegas y humedales, a pesar de su baja superficie, presenta 33 especies (muy cerca del 50% del total) y solo 3 se comparten con la de otros sectores. Algunas especies exclusivas de dicha agrupación son: *Oxychloe castellanosii*, *Deyeuxia eminens*, *Festuca argentinensis*, *Carex gayana* y *Juncus articus*. Finalmente, la vegetación de dichas zonas se caracteriza por una formación azonal de turberas con predominio de plantas leñosas y cojines de Juncáceas, Ciperáceas y Campanuláceas, con predominio de hierbas perennes (91% de las especies). En estas zonas se concentra la mayor actividad de la fauna de vertebrados

(principalmente aves), especialmente en los procesos de alimentación, refugio y reproducción (este último proceso especialmente en el caso de las aves acuáticas de gran tamaño).

Por otro lado, se encuentra la comunidad de las laderas de los cerros, caracterizada por la ausencia de agua, alta cobertura rocosa, baja riqueza de especies de fauna de vertebrados, escasa o nula vegetación, especialmente en términos de cobertura (desde 5% hasta 35%, según la unidad vegetacional), con presencia de especies exclusivas de flora (35 especies exclusivas de 38 especies presentes). En el caso de la fauna de vertebrados, en general no se encuentran especies exclusivas, y la gran mayoría de las pocas especies presentes se encuentran también en las vegas (como Dormilonas, Jilgueros, Agachonas, Camineras, Guanacos, Liebres), por lo que en este aspecto sería como un subconjunto de la comunidad A. La vegetación se caracteriza por corresponder a una de tipo zonal, con dominancia de hierbas perennes (cerca del 70%, valor menor que las vegas), seguido de 15% de arbustos bajos y hierbas anuales, con 14%.

## FLORA

La vegetación presente en las áreas de estudio responde a condiciones climáticas muy severas, lo que se refleja en la baja cobertura total (25 a 50%) la cual aumenta sólo en los bordes de ríos o vegas, llegando casi al 100%. Son limitantes para el crecimiento las bajas temperaturas y los intensos y desecantes vientos, sobre todo en las laderas más expuestas. De acuerdo a la clasificación fitogeográfica, en la Provincia de San Juan confluyen elementos de las Provincias Altoandina y Puna (Dominio Andino Patagónico) y del Monte (Dominio Chaqueño). Las zonas más bajas (hasta los 2600-2700 m s.n.m.) tienen una importante influencia de elementos de la Provincia del Monte, presentándose gran cantidad de especies arbustivas, mientras que por arriba de los 3.200 m s.n.m. la vegetación es exclusivamente herbácea.

Se pueden identificar formaciones climáticas o zonales en los sitios relevados. Entre estas formaciones se encontraron comunidades arbustivas entre los 2.100-2.700 m s.n.m, siendo la comunidad característica observada el “jarillal”, comunidad de *Larrea cuneifolia* y *L. nitida* (“jarillas”) asociada a *Prosopis alpacato*, *Bredemeyera colletioides* y *Bulnesia retama*. Por encima de los 3.200 m s.n.m. se encontraron comunidades herbáceas que presentan elementos puneños y altoandinos hasta los 3.500 m s.n.m. En este ecotono los elementos altoandinos se extienden por laderas de diferente inclinación, mientras que los elementos puneños se desarrollan sobre terrenos planos con material sedimentario presentes en quebradas, valles y altiplanicies. Por encima de esta altitud la vegetación es típicamente altoandina, abierta y discontinua, frecuentemente compacta, observándose numerosas formas en cojín o formando placas, como distintas especies de *Adesmia* y *Azorella* (“llaretas”).

En esta área de estudio se identificaron formaciones edáficas o azonales. La vegetación de vegas y de bordes de ríos se ve influenciada más por la presencia y características del agua (acidez, salinidad) que por el clima. En las zonas más bajas (hasta los 2.800 m s.n.m.) la vegetación está formada por arbustos, y gramíneas y otras herbáceas de gran porte, hasta de dos metros de altura, con una cobertura de casi el 100%. Las especies dominantes son: *Cortaderia selloana*, *Tamarix ramosissima*, *Tessaria absinthioides*, *Hyalis argentea* y *Baccharis* cfr. *salicifolia*, combinándose en diferente proporción.

A partir de los 3.200 m s.n.m. la vegetación comienza a ser más baja y abierta, presentándose mayor cantidad de elementos típicamente altoandinos, como *Acaena magellanica*, *Azorella cryptantha*, *Calandrinia* sp., *Calceolaria luxurians*, *C. pinifolia* y *Ranunculus* spp. Se encuentran también gramíneas pequeñas como *Deyeuxia eminens*, *Hordeum halophyllum* y *Bromus setifolius*.

De las 85 especies de flora que pueden ser encontradas, la mayoría son nativas siendo 2 de ellas introducidas. Se puede identificar una adventicia y 10 de ellas endémicas de Argentina. Además, no se encontraron especies alóctonas.

## FAUNA

---

Se determinó que los hábitats y fauna en el área del proyecto son característicos de los áridos altos Andes del límite Chile/Argentina. La diversidad y abundancia de especies se determinó como muy baja, debido a que las condiciones ambientales en los altos Andes (seco y frío con poca vegetación) no son favorables para la vida silvestre. Los hábitats que se identificaron en el área de estudio fueron Vega: Bofedal/Pastizal; Bofedal; Salar: con afloramientos de aguas termales; Río: Quebrada con arroyo con mezcla de aguas termales; Río: Cuenca amplia con pastizal escaso; Río: Quebrada amplia con pastizal y arbustos; Río: Quebrada angosta con pastizal y arbustos; Ladera de cerro con escasa o nula vegetación. A continuación, se describen los resultados determinados para cada una de las áreas de influencia, sobre la base de los indicadores biológicos mencionados.

En términos generales, la especie más abundante, entre las aves, es el *Sicalis auriventris* (Jilguero Grande) y *Lama guanicoe* (Guanaco) es el mamífero más abundante. También se puede concluir que la inmigración (y/o reproducción) de las especies al área comienza, en esta ocasión, en noviembre (primavera), incrementa/agudiza en diciembre (principios de verano), y en enero dicha abundancia disminuye. Las especies más representativas del área de estudio son las aves, que representan el 79,3% de las identificadas. Los mamíferos por su parte representan el 17,2% de las especies identificadas. El menor número de especies correspondió a reptiles con un 3,5%.

### Área Camino Minero

Las seis especies más abundantes registradas corresponden a *Phrygilus atriceps*, *Cometocino*; *Muscisaxicola alpina cinerea*, *Dormilona Cenicienta*; el *Perico Cordillerano*, *Psilopsiagon (Bolborhynchus) aurifrons*; el *Chirihue Dorado*, *Sicalis auriventris*; *Leptasthenura aegithaloides*, *Tijeral* y *Muscisaxicola frontales*, *Dormilona de Frente Negra*.

En los sectores de los Arroyos del Gollete y del Zancarrón las especies más abundantes corresponden a *Sicalis auriventris*, el *Chirihue Dorado*; el *Piuquen*, *Chloephaga melanoptera* y *Geositta isabellina*, *Caminera de Alas Largas*. Las especies de muy baja representación o prácticamente raras en el área resultaron ser el *Phrygilus unicolor*, *Pájaro Plomo*; el *Picaflor*, *Oreotrochilus* sp., el *Jilguero Cordillerano*, *Spinus atratus* y el *Zorzal Criollo*, *Turdus chiguanco anthracinus*.

Se distinguieron dos zonas, separadas por el Paso Conconta, constituidas por el hábitat generado por el Río del Valle del Cura en un lado y por el complejo *Vicuñita* por el otro. En el Hábitat A, se detectaron seis especies. La especie más

representativa es, *Sicalis auriventris*, Chirihüe Dorado, que es una especie muy móvil y abundante. En el Hábitat B, formado por la vega/bofedal Vicuña, se identificaron 13 especies, las más representativas fueron el Cometocino, *Phrygilus atriceps*; la Dormilona Cenicienta, *Muscisaxicola alpina cinerea*; el Tijeral, *Leptasthenura aegithaloides*; y la Dormilona Fraile, *Muscisaxicola flavinucha*. Además, se registró la presencia no cuantificada del anfibio *Bufo spinulosus*, sapo. El Hábitat C es el más pobremente representado, corresponde a áreas desérticas de gran altura, con zonas cubiertas de hielo, asociado a una vega/bofedal de altura con una muy baja presencia de fauna. Sólo dos especies se detectaron en este lugar, las que por su movilidad no representan ninguna importancia para un eventual manejo de estos sectores. El Hábitat D está formado por los dos segmentos del valle Vicuña las especies más representativas de esta agrupación resultaron ser *Phrygilus atriceps*, Cometocino, seguida del Perico Cordillerano, *Psilopsiagon (Bolborhynchus) aurifrons* y de *Muscisaxicola frontalis*, Dormilona de Frente Negra.

#### Área Ríos de Las Taguas – de La Palca

Las especies principales, en términos de la riqueza faunística total, detectadas en esta área fueron *Sicalis auriventris*, Chirihüe Dorado y *Phrygilus gayi*, Cometocino. A estas le siguen, tres especies de aves: la Golondrina de Dorso Negro, *Pygochelidon cyanoleuca*; la Tórtola Cordillerana, *Metriopellia melanopectera* y *Asthenes* sp. Las especies que siguen en orden de importancia corresponden al género *Muscisaxicola*, de las cuales se tienen dos especies (*M. maculirostris* y *M. rufivertex*) y un grupo indeterminado (*M. sp.*). El resto de las especies: *Carduelis uropigialis*, Jilguero Cordillerano; *Cinclodes fuscus*, Churrete Acanelado; *Metriopelia aymara*, Tortolita de la Puna; *Phalcooboenus megalopterus* Carancho Cordillerano; *Lophonetta specularioides*, Pato Juarjual; *Muscisaxicola flavinucha* Dormilona Fraile y *Buteo* sp., Aguilucho, representan porcentajes muy bajos de la fauna total registrada. Además, dos especies de mamíferos fueron detectados durante el estudio: *Lama guanicoe* Guanaco y *Pseudalopex griseus*, Zorro Chilla.

---

#### 11.4.5 ÁREAS PROTEGIDAS

Fuera del área de influencia directa del Proyecto, se ubica el Parque Nacional San Guillermo y la Reserva Provincial San Guillermo que se encuentra en el extremo norte de la Provincia de San Juan, en el Departamento de Iglesia. Este tiene una superficie de aproximadamente 860.000ha.

La Reserva Provincial San Guillermo se creó mediante el Decreto Ley Provincial N° 2164, del 22 de junio de 1972, con el objeto de conservar los recursos naturales renovables, en especial la Vicuña y las principales características fisiogeográficas, asociaciones bióticas y el equilibrio biológico. Posteriormente, y para ser efectiva esta creación, el Gobierno Provincial, mediante la Ley Provincial N° 4164 del 29 de diciembre de 1975, procedió a declarar de utilidad pública sujeto a expropiación el campo denominado “Estancia de San Guillermo”; dicho campo, considerado Reserva Natural Provincial, fue destinado principalmente a la protección de la Vicuña. Luego, mediante la Ley N° 5949 del 8 de marzo de 1989, se desafectó la declaración de utilidad pública al inmueble conocido como “Campo Villanueva”, de aproximadamente 125.600 ha.

La Zona 1 o Núcleo, que corresponde al Parque Nacional San Guillermo, está al noreste del área del Proyecto a 42 km. La Zona 2 de la Reserva Provincial de San Guillermo, que corresponde a la Zona de Amortiguación del Parque Nacional San Guillermo, también está al noreste del Proyecto a 28 km.

---

#### 11.4.6 ASPECTOS SOCIECONOMICOS

El proyecto se inserta en el noroeste del departamento de Iglesia, en los altos valles andinos. Los poblados vinculados al proyecto a través del camino de acceso son el de Iglesia, ubicado a 135 km al sur oriente del proyecto, Las Flores ubicado a 129 km al suroriente del proyecto y Piran ubicado a 114 km al suroriente del proyecto. Por su parte, los poblados vinculados a través del uso de las aguas del Río Blanco en el Departamento de Iglesia son Colola, ubicado a 122 km al sur oriente del proyecto; Angualasto, ubicado a 107 km al sur oriente del proyecto; Malimán, ubicado a 120 km al sur oriente del proyecto y Rodeo, ubicado a 122 km al sur oriente del proyecto. Asimismo, el poblado vinculado a través del uso del río Jáchal en el Departamento de Jáchal es el de San José de Jáchal, ubicado a 150 km al sur oriente del proyecto. Finalmente, el poblado que conforma el centro urbano más cercano y de mayor importancia con la cual se vinculará el proyecto, es la Ciudad de San Juan, ubicada a 350 km al sur del proyecto.

El departamento de Iglesia cuenta 8763 habitantes según los datos del INDEC 2022 de los cuales un 49.4% son mujeres y un 50.6% hombres. Comprendido por las localidades de Angualasto, Colola, Iglesia, Las Flores, Piran y Rodeo entre otros. Sus principales actividades económicas son la minería (metalífera) y el Turismo, ya que se ha convertido en uno de los destinos más visitados de la provincia de San Juan, donde predomina un ambiente cordillerano, serrano y de fecundos valles agrícolas (Municipalidad de Iglesia, s/f). Además, cuenta con crías bovinas en sus valles en Bella Vista, donde hay pasturas más blandas y cultivos de alfalfa.

Según los datos del INDEC 2010, menos del 5% de la población tiene nivel universitario completo o más, entre un 75 a un 90% de la población de 18 años y más tiene la primaria completa y entre el 25 a 45% de la población tiene la secundaria completa. El 97% o más de la población entre 6 y 12 años asiste a una educación formal, mientras que un 85 a 95% de la población de 13 a 17 que asiste a la secundaria.

Entre un 80% y más de los hogares no tienen cobertura de techo tipo 1 (membrana, baldosa, losa o teja). Entre un 45% o más de los hogares no tienen piso tipo 1 (cerámica, baldosa, mosaico, mármol, madera, alfombrado). Entre un 15 a un 45% de los hogares no tienen acceso a agua para beber y cocinar proveniente de la red pública, entre un 25 y un 50% de los hogares no tienen cañería de agua en su vivienda. El 80 % o más de los hogares son con garrafa o leña como combustible usado sobre todo para cocinar.

Jáchal es un departamento del centro norte de la provincia de San Juan, casi al centro oeste de Argentina. Este departamento ocupa un 16% del total de la superficie provincial, lo que lo convierte en una jurisdicción de las más extensa, ocupando el tercer puesto. Cuenta 25.435 habitantes según los datos del INDEC 2022 de los cuales un 50.8% son mujeres y un 49.2% hombres. Posee una densidad poblacional de 1,5 hab./km<sup>2</sup>. La economía de Jáchal está centrada

en la agricultura, destacándose numerosas plantaciones de hortalizas, como la cebolla, siendo el tercer producto de la provincia de San Juan más exportado después de la vid y el olivo. También se producen una variedad de frutas (con un predominio de membrillo), olivos y se desarrolla una importante producción de alfalfa. Además, cuenta con importantes yacimientos de Uranio, carbón y oro.

Según los datos del INDEC 2010, menos del 5% de la población tiene nivel universitario completo o más, entre un 55 a un 75% de la población de 18 años y más tiene la primaria completa y entre el 25 a 45% de la población tiene la secundaria completa. El 97% o más de la población entre 6 y 12 años asiste a una educación formal, mientras que un 85 a 95% de la población de 13 a 17 que asiste a la secundaria.

Entre un 50 y un 80% de los hogares no tienen cobertura de techo tipo 1 (membrana, baldosa, losa o teja). Entre un 45% o más de los hogares no tienen piso tipo 1 (cerámica, baldosa, mosaico, mármol, madera, alfombrado). Entre un 15 a un 45% de los hogares no tienen acceso a agua para beber y cocinar proveniente de la red pública, entre un 25 y un 50% de los hogares no tienen cañería de agua en su vivienda. El 80 % o más de los hogares son con garrafa o leña como combustible usado sobre todo para cocinar.

Finalmente, el departamento capital de San Juan posee tan solo 30 km<sup>2</sup>, siendo así el distrito más pequeño de todo el país. En él se desarrolla un paisaje urbano, con más de 113.343 habitantes según el INDEC 2022, de los cuales un 53.1% son mujeres y un 46.8% hombres. Dentro de sus límites se ubica el distrito central de negocios de la Ciudad de San Juan convirtiéndolo en el centro institucional, administrador, gestor, así como en el asiento de las autoridades gubernamentales de la nombrada provincia. Además, se destaca por ser el único departamento de San Juan por poseer una superficie, en forma completa, constituida por paisaje urbano donde las actividades agrícolas son inexistentes.

Según los datos del INDEC 2010, entre un 15 a un 25% de la población tiene nivel universitario completo o más, entre un 90% y más de la población de 18 años y más tiene la primaria completa y entre el 65% y más de la población tiene la secundaria completa. El 97% o más de la población entre 6 y 12 años asiste a una educación formal, mientras que un 85 % y más de la población de 13 a 17 que asiste a la secundaria.

Menor a un 25% de los hogares no tienen cobertura de techo tipo 1 (membrana, baldosa, losa o teja). Entre un 5 a 20% o más de los hogares no tienen piso tipo 1 (cerámica, baldosa, mosaico, mármol, madera, alfombrado). Menos del 15% de los hogares no tienen acceso a agua para beber y cocinar proveniente de la red pública y menos de un 10% de los hogares no tienen cañería de agua en su vivienda. Entre el 20 a 50% o más de los hogares son con garrafa o leña como combustible usado principalmente para cocinar.

## 11.5 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para identificar los impactos generados a partir del proyecto, es importante identificar las acciones realizadas en cada etapa y los efectos que estas causan sobre los factores bióticos, abióticos y antrópicos del área de influencia. Considerando que se considera impacto a cualquier alteración significativa, positiva y 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 matriz de Leopold, a partir de la cual se realiza un análisis respecto a una serie de atributos, para medir el grado de relevancia del impacto en el proyecto y poder actuar en consecuencia. A partir de los resultados, se realizará un plan de gestión ambiental que incluirá medidas de mitigación y prevención, para evitar o minimizar los impactos negativos.

### 11.5.1 IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES Y FACTORES

Las acciones son aquellas actividades llevadas a cabo en el proyecto que interactúan con los distintos factores del medio. Estas fueron detalladas en la sección 10.2 de este capítulo y se muestran en la tabla a continuación a modo de resumen.

TABLA XXXVII: IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES DEL PROYECTO QUE TIENEN UN IMPACTO EN EL AMBIENTE.

Etapa de construcción	Etapa de operación	Etapa de cierre
Limpieza y nivelación del terreno	Operación	Desmantelamiento de equipo y maquinaria
Instalación y desmantelamiento de obrador	Tratamiento del efluente	Demolición de infraestructura
Uso de equipos y maquinarias pesadas	Compost del lodo	Generación de residuos y escombros
Excavación	Traslado del lodo	Revegetación y recomposición del sitio
Obra civil	Generación de residuos	Monitoreos
Instalación de sistema eléctrico	Mantenimiento de maquinaria y equipos	
Movimiento de vehículos con material y personal	Monitoreos	
Generación de residuos y escombros		
Forestación		

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 socioeconómico como se puede ver en la tabla a continuación.

TABLA XXXVIII: IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DEL MEDIO QUE TIENEN INTERACCIÓN CON EL PROYECTO.

Físico	Aire	Calidad Ruido
	Suelo	Calidad Compactación
	Agua	Calidad Superficial Calidad Subterránea Drenaje
Biológico	Flora	Cobertura vegetal
	Fauna	Diversidad
	Ecosistema	Calidad del paisaje
Socioeconómico	Economía	Nivel de empleo Actividades económicas Infraestructura
	Social	Calidad de vida Salud y seguridad laboral

### 11.5.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS

Una vez identificadas las acciones y factores del medio, se evalúan los posibles impactos para definir la incidencia frente a la actividad por la que se lo está evaluando. La evaluación se hará utilizando la matriz de Leopold, la cual consiste en un cuadro de dos entradas donde se relacionan causa y efecto sobre el cual actúa produciendo el impacto.

Para construir la matriz es necesario identificar y predecir el impacto de las acciones a desarrollar para poder proponer las medidas de atenuación y/o mitigaciones pertinentes. Los impactos se caracterizarán considerando atributos y cuantificándolos con valores: +/-, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto y recuperabilidad. En la tabla a continuación se presentan las distintas variables con su estado y valor.

TABLA XXXIX: PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN DE IMPACTOS PARA LA CONFECCIÓN DE LA MATRIZ DE LEOPOLD.

Parámetro	Descripción	Estado	Valor
Signo	El signo positivo corresponde a un impacto de tipo beneficioso para el factor ambiental, mientras que el negativo corresponde a un impacto perjudicial.	Positivo	+
		Negativo	-
Intensidad (IN)	Se refiere al grado probable de destrucción sobre el factor. La valoración está comprendida entre 1 y 12, en el que 12 expresa una destrucción total del factor y el 1 una afectación mínima.	Baja	1
		Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
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. Si el efecto no encuentra una localización precisa presentando un efecto generalizado en toda el área se le asignará el máximo valor de 12	Puntual	1
		Parcial	2
		Extenso	4
		Total	8
		Crítica	12
Momento (MO)	Alude al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor del medio considerado. Cuando el tiempo transcurrido es nulo se le asignará el valor de 8. Si el tiempo transcurrido es dentro del primer año será inmediato y le corresponderá el valor 4. 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.	Largo plazo	1
		Mediano plazo	2
		Inmediato	4
		Crítico	8
Persistencia (PE)	Se refiere al tiempo de permanencia del efecto una vez generado el impacto. Si la persistencia del efecto tiene lugar durante menos de un año el impacto será fugaz y el valor será de 1. Si dura entre 1 y 10 será considerado temporal y el valor correspondiente será de 2. Finalmente será considerado permanente asignándole un valor de 4 cuando su duración supere los 10 años.	Fugaz	1
		Temporal	2
		Permanente	4
Reversibilidad (RV)	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, o sea, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, cuando deje de actuar sobre el medio. Si es reversible en menos de 2 años será de corto plazo y se le asigna el valor de 1, si es entre 2 y 10 años se considerará de medio plazo. Por último, si es irreversible, no podrá volver a sus condiciones iniciales en forma natural, el valor es de 4.	Corto plazo	1
		Mediano plazo	2
		Irreversible	4
Recuperabilidad (MC)	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado. La posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, mediante intervención humana. Si el efecto es recuperable inmediatamente, se le asigna valor 1. Si es recuperable, pero a lo largo de un período de tiempo será valor 2. Si es mitigable, recuperable en forma parcial, se asigna el valor de 8 y si resulta irrecuperable se le asigna el valor 10.	Recuperable de manera inmediata	1
		Recuperable a largo plazo	2
		Mitigable	8
		Irrecuperable	10

Acumulación (AC)	Fenómeno con el que los efectos son incrementales progresivamente. El valor es de 1 cuando es simple y 4 cuando es acumulativo.	Simple	1
		Acumulativo	4
Efecto (EF)	De acuerdo a su manifestación o forma de operar sobre el medio será directo o indirecto.	Indirecta	1
		Directa	4
Periodicidad (PR)	Es la manifestación de la posibilidad de ocurrencia del efecto en el tiempo, clasificándose como irregular o errático con valor 1, periódico con valor 2 y continuo valor 4.	Irregular	1
		Periódico	2
		Continuo	4

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

$$I = \pm(3In + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc) \quad \text{Ecuación 58}$$

Evaluando cada atributo se calcula la valoración del impacto, es decir, la importancia de la acción en el factor del medio. La identificación de la intensidad de cada uno de los impactos en la matriz se verá reflejada por un color como se muestra en la tabla a continuación.

TABLA XL: CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LOS IMPACTOS.

Impacto	Valor
Positivo	Mayor a 0
No significativo	> -25 y <0
Moderado	Entre -25 y -50
Severo	Entre -50 y -75
Crítico	< -75

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 que se muestra a continuación.

TABLA XLI: MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO.

		Físico						Biológico			Socioeconómico				Valor medio				
		Aire		Suelo		Agua		Flora	Fauna	Eco.	Economía		Social						
		Calidad	Ruido	Calidad	Compactación	Calidad Superficial	Calidad Subterránea	Drenaje	Cobertura vegetal	Diversidad	Calidad del Paisaje	Nivel de empleo	Actividades Económicas	Infraestructura		Calidad de vida	Salud y seguridad laboral		
Construcción	Limpieza y nivelación del terreno	-20		-56	-44		-23	-50	-63	-53	-68				-46	-32	-41		
	Instalación de obrador	-20					-23	-18	-27	-28							-13		
	Uso de equipos y maquinarias pesadas	-32	-21	-29	-30	-59	-39		-18	-30							-42	-30	
	Excavación	-40	-21	-64	-41			-26									-42	-33	
	Movimiento de vehículos con materiales y personal	-31	-18	-22	-27	-59				-30					-17			-20	
	Obra civil	-43	-18	-31	-27			-25	-34		-30						-40	-24	
	Instalación de sistema eléctrico	-20	-18		-22						-25						-34	-16	
	Desmantelamiento de obrador	-25	-21															-7	
	Generación de residuos y escombros			-57		-47	-39			-47	-22					-35	-29	-27	
Forestación																			
Operación	Operación		-18			-75	-51			-30	-48						-46	-26	
	Tratamiento del efluente																		
	Compost del lodo	-30																-3	
	Traslado del lodo	-32	-18		-27	-47				-30	-28				-17			-19	
	Generación de residuos	-24		-57		-45				-47	-22				-35	-29		-28	
	Mantenimiento de maquinaria y equipos	-28		-57		-57	-39											-32	-30
	Monitoreos																		
Cierre	Desmantelamiento de equipo y maquinaria					-59											-32	-21	
	Demolición de infraestructura	-22	-21			-41								-31			-31	-10	
	Generación de residuos y escombros	-24		-57		-47				-22					-35	-29		-26	
	Revegetación y Recomposición del sitio																		
	Monitoreos																		
<b>Valor medio</b>		<b>-22</b>	<b>-14</b>	<b>-27</b>	<b>-19</b>	<b>-35</b>	<b>-23</b>	<b>-12</b>	<b>-12</b>	<b>-21</b>	<b>-20</b>			<b>0</b>	<b>-1</b>	<b>-35</b>			

### 11.5.3 DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS

#### ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

En el transcurso de la fase de construcción del proyecto, se generarán impactos ambientales que en su gran mayoría serán temporarios y se circunscriben al entorno inmediato de las obras. Es importante resaltar que los impactos adversos más notorios del proyecto se manifiestan durante la ejecución de esta etapa.

Gran parte de las actividades llevadas a cabo durante esta etapa impactan en la calidad del aire. Los principales efectos serán debido a la generación de polvo durante las acciones de nivelación, limpieza y excavación del terreno, el movimiento de maquinaria pesada, la instalación y operación del obrador y las obras civiles y eléctricas. A esto se le sumará que durante la limpieza del terreno la calidad del aire local se verá afectada por la pérdida de vegetación. Además, el movimiento de vehículos de gran porte traerá asociado emisiones provenientes de la combustión de los sistemas de escape. Estos efectos podrían ocasionar molestias de carácter temporal para la fauna, la salud de los trabajadores y las poblaciones cercanas al área del proyecto. No obstante, es importante señalar que los vientos predominantes de la región dispersarán las emisiones, lo que reducirá la magnitud de los impactos, y se anticipa que cesarán una vez concluida la fase de construcción.

Durante el traslado de materiales y equipos al lugar de obra y durante la construcción, se prevé un aumento temporal de los niveles de ruido y vibración a nivel local.

A su vez, durante esta etapa se afectará la calidad y compactación de los suelos debido al cambio de uso de suelos, el levantamiento, la nivelación, la compactación y la construcción sobre ellos para la construcción de la planta, su red eléctrica, conducciones y demás unidades complementarias. A su vez, la excavación e impermeabilización del predio para el sistema de compostaje supondrá un impacto negativo elevado por la remoción de la cubierta vegetal, su desconexión de la infiltración natural y su compactación. La irreversibilidad de dicha acción resulta elevada como así también su persistencia. Como resultado, existe la posibilidad de que se alteren ligeramente los patrones de escurrimiento superficial preexistentes, lo que podría afectar la dinámica natural del drenaje del sitio. Además, la nivelación del terreno podría interrumpir la dinámica natural de transporte de sedimentos y la acumulación en depresiones.

La eliminación de la vegetación realizada en las tareas de limpieza y nivelación del terreno tendrá un impacto inevitable e irremediable en la cobertura vegetal, la fauna local asociada al entorno y en la percepción paisajística. En el caso de la fauna, esta sufrirá la pérdida de hábitat por la localización del proyecto, lo cual puede afectar significativamente su comportamiento y ciclo de vida. A su vez, la instalación del obrador y el uso de maquinaria pesada afectan directamente a la flora y la fauna locales por el movimiento de suelo y su ocupación, pero en este caso será un efecto puntual en la vegetación y fauna local que se remediará cuando cesen los trabajos.

Por otro lado, toda tarea que implique la remoción de vegetación y el movimiento de tierra tiene el potencial de generar impactos sobre la calidad del agua superficial de los cursos cercanos como resultado de la erosión del terreno y la incorporación del material erosionado en los mismos, así como por la incorporación del material orgánico retirado. La calidad del agua, subterránea y superficial, podría afectarse por el uso inadecuado de químicos durante la construcción. De todas formas, este efecto no sería muy grande ya que la escorrentía del río actuará como factor diluyente.

Durante la ejecución de todas las actividades realizadas en la fase de construcción, se generará una cantidad de residuos, que incluirá tanto residuos sólidos urbanos como residuos peligrosos. Para prevenir posibles impactos negativos sobre el suelo, el agua, la flora y la fauna, es esencial tener un plan de gestión que permita cumplir con los estándares y procedimientos establecidos para el tratamiento y la disposición adecuada de dichos residuos.

En cuanto a los impactos positivos, se debe resaltar el impacto sobre la economía local, ya que las tareas generarán una demanda considerable de empleo en los sectores industrial y de servicios, y la necesidad de adquirir insumos, materiales y equipamiento, contribuyendo así al desarrollo económico local. Pero estas tareas implican un potencial riesgo en la salud y seguridad de los trabajadores si no se planean considerando los posibles riesgos y utilizando las medidas necesarias para su prevención.

Por otro lado, la acción de forestar produce beneficios ambientales directos en todas las acciones del proyecto, como son la conformación de barreras físicas, visuales, contra viento, ruidos y olores.

## ETAPA DE OPERACIÓN

---

En la fase de operación de la planta de tratamiento y del sistema de compostaje, los principales efectos adversos están vinculados primordialmente a las implicaciones sobre la calidad del suelo y del agua superficial y subterránea, esto se debe a que se utilizarán distintos químicos que si no son manejados correctamente podrían terminar afectando estos recursos. Lo mismo ocurre con la gestión de los residuos sólidos urbanos y peligrosos, si la tarea es ejecutada de manera incorrecta y sin tener los recaudos correspondientes, conlleva también impactos negativos sobre los cuerpos de agua y el medio edáfico.

Por otro lado, el traslado de los residuos, los lodos generados, los insumos de la planta y el personal de trabajo aumentan la circulación vehicular de la zona lo cual puede afectar la fauna y la calidad del paisaje. Así como también la calidad de vida de las poblaciones aledañas para las cuales aumentará el tráfico vehicular en su zona de residencia. Además, se ven involucradas emisiones gaseosas propias de la combustión de los vehículos, las cuales impactan directamente sobre la calidad del aire. Por otro lado, la planta de compostaje podría tener afectaciones sobre la calidad del aire local de no ser operada correctamente debido a los olores que produce la descomposición de la materia orgánica.

Además, es importante mencionar la posibilidad de ocurrencia de contaminación sonora, derivada del ruido y las vibraciones inherentes a ciertos equipos operativos, provocando un impacto sobre la fauna aledaña, principalmente a la avifauna que tenderá a ahuyentar.

En cuanto a la salud de los trabajadores, existe la posibilidad de que ocurran efectos nocivos ligados a la contaminación sonora y el material particulado. O incluso a partir de accidentes o incidentes derivados de las tareas a realizar.

Finalmente, entre los impactos positivos podemos resaltar la generación de empleo, que involucra tanto la contratación de profesionales como la adquisición de insumos y servicios para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento y de compostaje. Esto a su vez contribuye al desarrollo de las actividades económicas de la región, aunque en menor medida que en la etapa de construcción. A su vez, los monitoreos ambientales a realizar son considerados positivos ya que permiten prevenir y/o mitigar posibles fallas del proyecto. Finalmente, la generación de un compost apto para ser utilizado como abono en plantaciones locales es considerado el impacto positivo más relevante del proyecto.

## ETAPA DE CIERRE

---

Durante la fase de cierre, la calidad del aire experimentará afectaciones por razones análogas a las observadas en la etapa de construcción, es decir, emanación de gases y material particulado relacionados con la circulación de vehículos y maquinaria, además de la actividad de demolición. No obstante, se anticipa que la magnitud de estos efectos será de menor entidad en comparación con las fases previas. Por los mismos motivos, se anticipan emisiones sonoras debido a la actividad de demolición. Como se mencionó previamente, esto podría conllevar al alejamiento temporal de la fauna alrededor del área.

Sin embargo, durante esta fase, se observan efectos positivos para el entorno físico y biológico, relacionados con la restauración paisajística del área, que implica la recuperación de la cobertura vegetal original, la recomposición de los horizontes del suelo afectado y la reintegración de la fauna silvestre local. En esta etapa, también se enfatiza la necesidad de una gestión adecuada de lo químicos y de los residuos, especialmente aquellos de naturaleza peligrosa para evitar la afectación sobre la calidad del agua y del suelo.

La creación de empleo en esta fase se vincula a todas las tareas involucradas, con un énfasis particular en las labores de desmantelamiento y demolición, que además aumentan el tráfico vehicular hasta su conclusión. Como en todas las fases previas, se reconoce la presencia del riesgo para la salud de los trabajadores.

### 11.6 PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

El presente Plan de Gestión Ambiental (PGA) tiene como objetivo establecer las directrices y medidas necesarias para garantizar que el proyecto se desarrolle de manera sostenible, minimizando su impacto ambiental y cumpliendo con las regulaciones locales, provinciales y nacionales. Sus objetivos específicos son,

- Reducir al máximo los posibles impactos negativos del proyecto en el entorno natural, incluyendo la conservación de la flora y fauna locales, la protección de los cuerpos de agua y la prevención de la contaminación del aire y el suelo.
- Asegurar el cumplimiento de todas las regulaciones ambientales, tanto a nivel local como nacional, para evitar posibles sanciones legales y garantizar la aceptación de la comunidad local.
- Priorizar la seguridad y el bienestar de todos los trabajadores involucrados en el proyecto, proporcionándoles la capacitación adecuada y las herramientas necesarias para realizar sus tareas de manera segura.
- Mantener una comunicación abierta y transparente con la comunidad local y las partes interesadas, informándoles sobre los aspectos ambientales del proyecto y respondiendo a sus inquietudes y preguntas.

Su alcance abarca todas las fases del proyecto, desde la construcción hasta la operación y eventual desmantelamiento y cierre. En línea con esto, se estructura en cuatro componentes fundamentales:

**Mitigación de Impactos:** Acciones específicas para reducir y controlar los impactos ambientales identificados en las etapas de construcción, operación y cierre del proyecto.

**Monitoreo Ambiental:** Implementación de un programa de monitoreo ambiental que cumpla con las normativas provinciales y nacionales y permita la evaluación constante de los impactos del proyecto en el entorno.

**Gestión de Contingencias:** Desarrollo de estrategias y procedimientos para abordar posibles situaciones de emergencia o contingencias que puedan surgir durante la ejecución del proyecto.

**Capacitación y Conciencia Ambiental:** Programa de capacitación dirigido a empleados y contratistas para promover buenas prácticas ambientales y fomentar una cultura de responsabilidad ambiental.

### 11.6.1 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS

En una primera instancia y como línea de base, se establecerán procedimientos para la organización de las actividades de construcción y operación que minimicen la interferencia con la naturaleza del lugar. A su vez, se prestará especial atención a la planificación y secuencia de las actividades para reducir los impactos ambientales. En línea con esto, todos los trabajadores recibirán capacitación continua sobre el PGA y las medidas de protección ambiental. Se fomentará una cultura de respeto hacia el entorno natural y el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Sin embargo, el proyecto presenta varios impactos ambientales significativos que deben abordarse mediante medidas de mitigación específicas. A continuación, se detallan las acciones concretas para su mitigación.

#### CALIDAD DEL AIRE

Tecnología de Control de Emisiones: Implementación de tecnologías avanzadas de control de emisiones en los vehículos y maquinaria utilizada. Chequeo periódico de todos los equipos con combustión para asegurar su correcto funcionamiento.

Proceso de compostaje: Implementación de una correcta aireación en el sistema de compostaje para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos y olores. Medición específica de parámetros del proceso que permitan ajustar en caso de desvíos.

Monitoreo: Establecimiento de un sistema de monitoreo semestral de la calidad del aire para detectar y corregir cualquier desviación de los estándares de calidad del aire.

Control de Polvo: Se humedecerá el terreno circundante al obrador durante las tareas de movimiento de suelos para controlar la generación de polvo.

#### CALIDAD DEL AGUA Y DEL SUELO

Monitoreo de Calidad del Agua y del suelo: Establecimiento de un programa de monitoreo de la calidad del agua en puntos de entrada y salida de aguas residuales, así como en cuerpos de agua cercanos.

Manejo de Productos Químicos: Se requerirá que todos los productos químicos utilizados en la obra cuenten con hojas de seguridad accesibles que detallen su peligrosidad, medidas de prevención y acciones en caso de accidentes. Además de encontrarse dentro de contenciones que permitan contener el líquido frente a un posible derrame.

Gestión de Combustibles y Lubricantes: Se verificará la disponibilidad de material absorbente suficiente en las áreas donde se almacenan combustibles, aceites y lubricantes. Además, estos lugares deberán contar con contenciones que permitan coleccionar el líquido en caso de un derrame.

Control de Derrames: Desarrollo de procedimientos y capacitación para el manejo seguro de productos químicos y materiales peligrosos para prevenir derrames y, en caso de ocurrir, responder de manera inmediata.

**Minimización de Residuos:** Se aplicará una gestión de minimización de los residuos generados en todas las etapas del proyecto, con capacitación del personal para su correcta segregación.

**Manejo de Residuos:** Durante todas las fases del proyecto se dispondrán los residuos con empresas certificadas por la autoridad competente para su retiro y disposición final controlada según el tipo de residuo del que se trate. Además, se contarán con recintos aptos para su acopio hasta el retiro.

**Gestión de Compost:** Implementación de prácticas de gestión de compostaje que minimicen la acumulación de nutrientes y metales pesados. Medición de parámetros específicos en el suelo que permitan controlar esto.

## RUIDO Y VIBRACIONES

---

**Control de Ruido:** Empleo de barreras de sonido y aislamiento acústico en la planta de tratamiento y el sistema de compostaje.

**Horarios de Trabajo Restringidos:** Limitación de las actividades ruidosas durante ciertas horas del día y la noche para reducir las molestias para la comunidad de Piran en el caso de la planta de compostaje.

**Monitoreo de Ruido y Vibraciones:** Implementación de un programa de monitoreo para garantizar que los niveles de ruido y vibraciones cumplan con la normativa durante la etapa de construcción.

## FLORA Y FAUNA

---

Antes de iniciar las actividades de construcción, se realizará una inspección visual exhaustiva para liberar áreas de fauna y flora. Durante todo el proyecto, se llevará a cabo un monitoreo continuo para identificar la presencia de especies protegidas o en peligro de extinción.

Se implementará un plan de rescate y reubicación de especies protegidas en caso de ser necesario. Esto incluirá la captura y traslado seguro de los animales y la protección de su hábitat original. Si se identifica la presencia de fauna silvestre en áreas de trabajo, se interrumpirán temporalmente las obras en esa zona. Además, se establecerán procedimientos para garantizar la seguridad de los trabajadores y la protección de la fauna.

Cualquier incidente que involucre la fauna o flora local se reportará de inmediato. Se llevará un registro detallado de estos incidentes, lo que permitirá tomar medidas correctivas y preventivas.

El personal recibirá capacitación específica sobre la fauna y flora locales, incluyendo información sobre las especies protegidas y las medidas de minimización de impactos.

## SEGURIDAD E HIGIENE

---

Se realizarán programas de capacitación teórica y práctica para prevenir accidentes en todas las etapas del proyecto, con un enfoque en la seguridad e higiene laboral. Diseñando certificaciones específicas para aquellas tareas que sean más riesgosas.

Se verificará mensualmente el estado de los equipos de seguridad, incluyendo extintores, y se garantizará la correcta colocación de cartelera de advertencia y planes de evacuación.

Se confeccionará y mantendrá constantemente actualizada una matriz de riesgos por cada tarea que se realice durante las distintas fases del proyecto. Esta matriz permitirá identificar y mitigar o eliminar los riesgos asociados con acciones concretas.

El responsable de Seguridad e Higiene, junto con el personal, deberá tomar todas las medidas necesarias para garantizar un entorno de trabajo seguro. Además, se registrarán indicadores de seguridad, como accidentes, días perdidos y siniestralidad, para identificar áreas de mejora.

---

### 11.6.2 PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL

El Plan de Monitoreo Ambiental establece la metodología, frecuencia, parámetros y puntos de muestreo para el desarrollo programado del monitoreo de parámetros ambientales. Su objetivo principal es evaluar y controlar parámetros ambientales clave como el nivel de ruido, las vibraciones, la calidad del aire, del agua y del suelo, asegurando que se mantengan dentro de los límites establecidos por la legislación vigente.

El programa se encarga de supervisar el estado ambiental del proyecto a lo largo de todas sus etapas, desde la fase inicial hasta la operación, e incluso durante la fase de cierre. Entre sus actividades principales se encuentran la definición o revisión de los puntos de muestreo, la toma de muestras, la recopilación de datos ambientales, el monitoreo de parámetros específicos, el análisis de resultados, la identificación de desviaciones y la implementación de medidas correctivas y en caso de que fuese necesario la presentación de los resultados a las autoridades competentes. A continuación, se presentan los parámetros a monitorear y la frecuencia de muestreo.

#### **Calidad del Aire**

Parámetros Medidos: Partículas en suspensión (PM10 y PM2.5), emisiones de gases (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COVs), monóxido de carbono (CO).

Frecuencia: trimestral en la planta de tratamiento y mensual en la planta de compostaje.

Puntos de Muestreo: Tres puntos fijos y tres puntos móviles definidos según la dirección del viento y la ubicación de los puntos de mayor vulnerabilidad en términos de salud de los trabajadores (campamento) o la población (Piran).

#### **Calidad del Agua**

Parámetros Medidos: pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nutrientes (nitrógeno y fósforo), entre otros.

Frecuencia: Mensual

Puntos de Muestreo: Entrada y salida de aguas residuales, cuerpos de agua cercanos, pozos freáticos de control de aguas subterráneas.

### **Ruido y Vibraciones**

Parámetros Medidos: Niveles de ruido en decibeles (dB), vibraciones en unidades específicas.

Frecuencia: Trimestral, durante las horas de operación.

Puntos de Muestreo: Áreas cercanas a la planta y puntos críticos identificados.

### **Calidad del Suelo**

Parámetros Medidos: pH, contenido de nutrientes, contenido de metales pesados, contenido de hidrocarburos.

Frecuencia: Trimestral en la planta de tratamiento y mensual en la planta de compostaje.

Puntos de Muestreo: Áreas representativas dentro del sistema de compostaje.

### **Olores**

Parámetros Medidos: Intensidad y caracterización de olores.

Frecuencia: Quincenal durante las horas de operación.

Puntos de Muestreo: Áreas cercanas al sistema de compostaje y puntos de posible impacto en la comunidad.

Además, se utilizarán herramientas de control operativo para identificar desvíos relacionados con los aspectos ambientales. Por ejemplo, se llevarán a cabo inspecciones y auditorías internas para controlar la aplicación de medidas preventivas y correctivas, los hallazgos se documentarán y se realizará un seguimiento. También se verificará el cumplimiento de todas las regulaciones ambientales, asegurando que los parámetros medidos cumplan con los estándares establecidos según la normativa provincial de San Juan y nacional de Argentina y asegurando que se tomen las medidas correctivas necesarias en caso de desviaciones. Además, se analizarán los Manuales de Seguridad y Tareas (MST) que contengan observaciones ambientales, se definirán medidas correctivas y se realizará un seguimiento. Y finalmente, se documentarán y abordarán las no conformidades, implementando acciones correctivas y preventivas.

---

### **11.6.3 PLAN ESTRATÉGICO DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS**

Se desarrollará un Plan Estratégico de Emergencias y Contingencias detallado que contemple diversos escenarios, como derrames de productos químicos, incendios, accidentes de trabajo y situaciones climáticas extremas. Este plan incluirá procedimientos claros para la evacuación segura del personal y la protección del ambiente.

Se llevarán a cabo simulacros periódicos para evaluar la efectividad del plan. Todos los trabajadores recibirán capacitación específica sobre cómo actuar en situaciones de emergencia y cómo utilizar el equipo de seguridad adecuadamente.

**Derrames de Productos Químicos**

Evacuación inmediata del personal, contención del derrame, notificación a las autoridades competentes, limpieza y rehabilitación del área afectada, revisión de procedimientos para prevenir futuros derrames.

**Incendios**

Activación inmediata del plan de respuesta contra incendios, evacuación segura de todos los trabajadores, notificación a las autoridades, uso de equipos de extinción de incendios y coordinación con servicios de emergencia locales.

**Accidentes Laborales**

Brindar atención médica de emergencia al trabajador lesionado, notificación a las autoridades correspondientes, análisis de la causa del accidente y revisión de los procedimientos de seguridad.

**Climas Adversos**

Monitoreo constante de las condiciones climáticas, suspensión temporal de las operaciones si las condiciones climáticas representan un peligro para los trabajadores o el entorno, reanudación de las operaciones cuando las condiciones sean seguras.

**Accidentes de Tránsito Internos**

Implementación de protocolos de seguridad vial, capacitación del personal en seguridad en carretera, notificación y análisis de accidentes de tránsito, revisión y mejora continua de los procedimientos de seguridad.

---

**11.6.4 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO**

El Programa de Capacitación Ambiental (PCA) tiene como objetivo informar y concientizar al personal involucrado en el proyecto sobre la política, los objetivos y las estrategias generales del Plan de gestión ambiental. Además, busca promover buenas prácticas laborales relacionadas con el manejo de residuos sólidos urbanos y peligrosos, así como fomentar la participación activa de los empleados en la implementación efectiva del Plan.

Entre las actividades que incluye el PCA se encuentran la planificación de capacitaciones, la instrucción sobre procedimientos de trabajo y riesgos, la motivación para la participación activa y la evaluación de la efectividad de las capacitaciones.

El PCA incluye un Plan de Capacitaciones de inducción para los empleados en el cual se instruye al personal acerca de los procedimientos de trabajo y los riesgos a los que están expuestos, tanto en relación con sus tareas como con las herramientas de trabajo y el entorno ambiental. Se promoverá la conciencia ambiental entre los empleados para que comprendan la importancia de su rol en la gestión ambiental del proyecto. Se proporcionará capacitación sobre el uso adecuado de los Elementos de Protección Personal (EPP) y se garantizará su disponibilidad y mantenimiento. Se

motivará a los empleados a participar activamente en la implementación efectiva del PGA y a informar cualquier incidente o desviación ambiental.

Además, se contará con capacitaciones específicas que se adaptaran a las funciones de cada trabajador y abordaran temas como Gestión de Residuos, Manejo de Productos Químicos y Preservación de la Flora y Fauna. Cada empleado recibirá la capacitación correspondiente a su rol.

---

#### 11.6.5 CUMPLIMIENTO DEL PGA

Se realizarán auditorías ambientales para verificar el cumplimiento estricto del PGA y la efectividad de las medidas de mitigación. Estas auditorías evaluarán no solo el impacto real del proyecto sobre el ambiente, sino también la detección temprana de eventuales impactos negativos. Las auditorías se llevarán a cabo de manera formal con una periodicidad ajustándose según necesidades específicas.

Además de las auditorías, se realizarán inspecciones ambientales diarias para verificar el cumplimiento de los aspectos ambientales. Estas inspecciones se llevarán a cabo formalmente de manera mensual, pudiendo ser modificadas por necesidades puntuales.

El PGA será actualizado conforme a las necesidades que surjan durante el desarrollo del Proyecto. Se incorporarán lecciones aprendidas identificadas a partir del proceso de gestión del conocimiento. Previo a comenzar la etapa de operación del proyecto, se revisará este PGA para su actualización y mayor detalle.

---

#### 11.6.6 DESAFECTACIÓN Y ABANDONO

Para cerrar las instalaciones temporales utilizadas durante la construcción del proyecto, se confeccionará un Plan de Desafectación y Abandono que especificará las tareas a realizar. Esto incluirá:

- Retiro de Instalaciones Temporales: Se retirarán todas las instalaciones temporales, excepto aquellas con un uso posterior claro.
- Retiro de Maquinaria y Equipos: Se retirarán todas las maquinarias y equipos utilizados para el Proyecto, junto con la limpieza de residuos.
- Restauración del Área: Se restaurarán las áreas de trabajo a su estado original dentro de lo técnicamente posible mediante actividades de recomposición.
- Revegetación Natural: Se fomentará la revegetación natural en áreas donde sea posible, mejorando los horizontes de suelo.

Finalizada las tareas, se elaborará un Informe de Cierre Ambiental (ICA) antes de la desmovilización final, que contendrá constancias probatorias asociadas al estado ambiental de devolución de las áreas ocupadas durante el desarrollo del Proyecto.

## CAPÍTULO 12: CONCLUSIONES

El desarrollo del siguiente proyecto permite analizar de manera integral las propuestas para dar solución a un problema real que tiene actualmente la empresa minera. Esto es, la generación de lodos del tipo cloacales con altas concentraciones de fenoles y una deficiencia en infraestructura por parte de la provincia de San Juan que no cuenta con Rellenos Sanitarios de Seguridad que puedan recibir y dar destino final a estos residuos peligrosos. Tal es así que la empresa se encuentra acopiando estos lodos en sus recintos hasta dar con una solución al problema.

Los fenoles son componentes complejos de tratar por su característica recalcitrante frente a métodos de tratamiento biológicos convencionales. Además de ser componentes sumamente peligrosos para la salud de la población y el ambiente.

Para abordar el problema se decidió plantear dos escenarios. Por un lado, mejorar el tratamiento del efluente que genera dichos lodos para disminuir la concentración de fenoles en el líquido. Con todos los problemas que esto implica, dada la localización del proyecto a 3500 metros de altura en el medio de la cordillera de los Andes. Para seleccionar la mejor alternativa que se adaptara a estas condiciones fue necesario realizar una extensa búsqueda de tecnologías que permitan cumplir con las concentraciones finales de fenoles, al mismo tiempo que sean factibles en las condiciones de contorno dadas y que hayan sido evaluadas a escala industrial. Tal es así que se logró llegar a realizar la evaluación teórica de un listado de tres tecnologías distintas que cumplían estos requisitos y se eligió la que mejor se adaptaba y más beneficios tenía en términos de costos y eficiencia. Finalmente, se decidió sumarle a esta alternativa el diseño de una planta de compostaje que permitiera la reutilización como abono en plantaciones forestales, del lodo generado en la planta de tratamiento.

Como segundo escenario se planteó el diseño un relleno sanitario de seguridad que permita dar disposición final controlada a este residuo. En este caso, por las características del residuo con el que se trabaja, fue necesario también el diseño de un sistema de pretratamiento que permitiera encapsular y adsorber el componente peligroso del residuo para que este no lixivie en las condiciones que se dan dentro del relleno de seguridad.

Luego del diseño y desarrollo teórico de ambas alternativas, se logró evaluarlas en términos de costos de inversión y de operación y mantenimiento, la facilidad para la obtención de los permisos necesarios para ejecutar el proyecto, la extensión de terreno necesaria para su implantación y finalmente el grado de circularidad del proyecto y el impacto en la imagen de la empresa a partir del mismo. Llegando de esta forma a la decisión de que la alternativa de tratamiento del tipo Fentón junto con la planta de compostaje eran la mejor opción para abordar esta problemática. Se destaca en este sentido, la aplicación de la planta de compostaje que permite la circularidad del proyecto en términos de reutilización

de un residuo y de aprovechar los nutrientes presentes en el mismo. Así como también, resulta ser un excelente nexo entre la empresa y la comunidad, permitiendo dar lugar a proyectos en conjunto de huertas y plantaciones, utilizando el compost como materia prima para su desarrollo.

La viabilidad social y ambiental se verificó por medio de la Evaluación de Impacto Ambiental, la cual permitió identificar potenciales impactos de la obra. Como resultado del estudio, se elaboró un Plan de Gestión Ambiental adecuado a las características del proyecto.

En conclusión, el presente proyecto es viable técnica, económica, social y ambientalmente.

En la elaboración de este Proyecto Final Integrador de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín, se aplicaron de manera integral los conocimientos y herramientas adquiridas a lo largo de la carrera académica y profesional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akin, K., Arslan-Alaton, I., Olmez-Hanci, T., & Bekbolet, M. (2013). Degradation and detoxification of industrially important phenol derivatives in water by direct UV-C photolysis and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV-C process: A comparative study. *Chemical Engineering Journal*, 4-9.
- American, N. (1986). American National Standard Measurement of the Leachability of Solidified Low-level Radioactive Wastes by a Short term Test Procedure. *American Nuclear Society Standards Committee Working Group*, 16.1.
- Amor, C., MS, L., J, G., JR, D., JB, H., & JA, P. (2015). Combined treatment of olive mill wastewater by Fenton's reagent and anaerobic biological process. *Environmental Science and Health*, 161-168.
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Sludge Treatment and Disposal*. New York: IWA.
- Arafat, H. A., Hebatpuria, V. M., & Rho, H. S. (1999). Immobilization of phenol in cement-based solidified/stabilized hazardous wastes using regenerated activated carbon: role of carbon. *Hazardous materials*, 139-156.
- Bablon, G., Bellamy, W., Bourbigot, M., Daniel, F., Doré, M., Erb, F., . . . Pacey, G. D. (2005). Fundamental aspects. In Langlais, B.; reekhow, D.A. and Brink, D.R. Ozone in water treatment. *Application and Engineering*, 11-13.
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 557-572.
- Bes Monge, S., Silva, A., & Christophe, B. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. RED TRITÓN.
- Cleto, E., Rodriguez, T., & Botelho, D. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 24-38.
- Conner, J., & Hoeffner, S. (2010). A critical review of stabilization/solidification technology. *Science Technology*, 397-462.

- Coripa. (2023). *Coripa SA*. Obtenido de [https://coripa.com.ar/?gclid=Cj0KQCQjwvL-oBhCxARIsAHkOiu1y7Zu7btDnbfWkxaOXBCy9Hnf24cgpbmIF-PmIFPaxkRXvc0EMkhYaAqziEALw\\_wcB](https://coripa.com.ar/?gclid=Cj0KQCQjwvL-oBhCxARIsAHkOiu1y7Zu7btDnbfWkxaOXBCy9Hnf24cgpbmIF-PmIFPaxkRXvc0EMkhYaAqziEALw_wcB)
- Cossu, R., & Stegmann, R. (2019). *Solid Waste Landfilling: Concepts, Processes, Technology*. Amsterdam: Elsevier.
- Decreto 831 (1993).
- Dogruela, S., Olmez-Hancia, T., Kartala, Z., & Arslan-Alatona. (2009). Effect of Fenton's oxidation on the particle size distribution of organic carbon in olive mill wastewater. *Science Direct*, 3974-3983.
- Energy, A. (S.F). *Aqua Energy Soluciones Tecnicas*. Obtenido de <https://aquaenergy.es/producto/tamiz-estatico-modelos>
- Enhosa. (2018). *Guías para la presentacion de proyectos de agua potable*. Buenos Aires: ENTE NACIONAL DE OBRAS HÍDRICAS DE SANEAMIENTO.
- EPA. (1988). Medical Waste Tracking Act. *USEPA*. Obtenido de <https://clu-in.org/download/remed/incpdf/incin.pdf>
- EPA, U. (2005). *Introduction to Land Disposal Units*. Solid Waste and Emergency Response.
- EPA, U. (2012). *A Citizen's Guide to Solidification and Stabilization*. Obtenido de EPA.gov: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/>
- Felis, E., & Miksch, K. (2015). Nonylphenols degradation by means of UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and UV/O<sub>3</sub>. *Water Science Technology*, 446-53.
- Fernandes, F. (2000). Estabiliza,c~ao e higieniza,c~ao de bioss'olidos. In Impacto ambiental do uso agr'icola do lodo de esgotos. *Embrapa Meio Ambiente*.
- García, N., Díaz, O., Calvetti, D., & Cano, M. (2016). *Minería Argentina*. KPMG.
- Ikehata, K., & Li, Y. (2018). Ozone-Based Processes. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*, 115-134.
- Ingeoexpert. (19 de Enero de 2018). *ingeoexpert.com*. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2018/01/19/mineria-cielo-abierto/>
- IWA. (2016). *IWA publishing*. Obtenido de <https://www.iwapublishing.com/news/flow-anaerobic-sludge-blanket-reactor-uasb>
- Kelly, H. (2003). Emerging processes in biosolids treatment. *The Second Canadian Organic Residulas Recycling Conference*. Burnaby: BCWWA.
- Libing, C., Jianlong, W., Jing, D., Haiyang, L., & Xulin, S. (2012). Treatment of coking wastewater by an advanced Fenton oxidation process using iron powder and hydrogen peroxide. *Chemosphere*, 409-414.
- Liu, J., Nie, X., Zeng, X., & Su, Z. (2013). Long-term leaching behavior of phenol in cement/activated-carbon solidified/stabilized hazardous waste. *Environment Management*, 265-269.
- Madani, M, A., B, N., RK, A., MY, K., & K, K. (2015). Treatment of olive mill wastewater using physico-chemical and Fenton processes. *Desalin Water Treatment*, 2031-2040.

- Malina, J. (1993). Effectiveness of municipal sludge treatment processes in eliminating indicator organisms. *Joint Residuals Conference*. Arizona: AWWA/WEF.
- Malviya, R., & Chaudhary, R. (2006). Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization: A review. *Hazardous Materials*, 267-276.
- Mierzwa, J. C., Rodrigues, R., & Teixeira, A. (2018). UV-Hydrogen Peroxide Processes. *ADVANCED OXIDATION PROCESSES FOR WASTEWATER TREATMENT*, 13-48.
- Minería, S. d. (Junio de 2020). *Argentina.gob*. Obtenido de [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mineria\\_argentina-primer\\_semestre\\_2020.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mineria_argentina-primer_semestre_2020.pdf)
- Mohseni, L. B. (2005). "Integrated Ozone and iotreatment of Pulp Mill effluent and Changes in Biodegradability and Molecular Weight Distribution of Organic Compounds. *Water Research*, 3763-3772.
- Montgomery, D., Sollars, C., & Perry, R. (1991). Optimization of cement-based stabilization/solidification of organic-containing industrial wastes using organophilic clays. *Waste Management & Research*.
- Morales, A. L. (2021). Conceptos Generales. *Curso cierre de minas* (págs. 1-15). Consultora CEPAL.
- Muñoz, F., & Paredes, A. (2014). Descontaminación de fenoles en el efluente de una refinería ecuatoriana, mediante el uso de ozono y combinaciones con peróxido de hidrógeno. *Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria*.
- O'Leary, P., & Tchobanoglous, G. (2002). *Landfilling, in Handbook of Solid Waste Management*. New York: McGraw-Hill.
- Oorschot, R., Van, W. D., & Semple, L. (2000). Options for beneficial reuse of biosolids in Victoria. *Water Science Technoly*, 115-122.
- Pagilla, K., Craney, K., & Kido, W. (1996). Aerobic thermophilic pre-treatment of mixed sludge for pathogen reduction and Nocardia control . *Water Environment*, 1093-1098.
- Pazoki, M., & Ghasemzadeh, R. (2020). *Municipal Landfill Leachate Management*. Cham: Springer.
- Peralta, E., González, R., Von Haeften, G., Comino, A., Gayoso, G., Vergara, S., . . . Scagliola, M. (s/f). *Experiencia piolo de compostaje de barros primarios cloacales de mar del plata*. Obtenido de ASACOMP: [asacomp.com.ar/material-bibliografico/](http://asacomp.com.ar/material-bibliografico/)
- Pereira Vilela, A., Carvalho Eugenio, T. M., Fonseca de Oliveira, F., Farinassi Mendes, J., Cornélio Ribeiro, A. G., Vasconcellos de S. Brandao Vaz, L. E., & Farinassi Mendes, R. (2020). Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. *Construction and Building Materials*, 262.
- Pichtel, J. (2014). *Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial*. New York: CRC Press.
- Piésold, K. (2003). *INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL*. San Juan: Minera Argentina Gold S.A.
- Randerson, P. F., Higgins, T. P., & Dancer, B. N. (2003). TREATMENT OF HIGH-STRENGTH LIQUID WASTES BY AUTO-THERMAL AEROBIC DIGESTION. *Bioremediation and Leachate Treatment*, 721-724.
- Remya, N., & Lin, J. (2011). Current status of microwave application in wastewater treatment-A review. *Chemestry Engineering*, 797-813.

- Rho, H., Arafat, H., Kountz, B., Buchanan, R., Pinto, N., & Bishop, P. (2001). Decomposition of hazardous organic materials in the solidification/stabilization process using catalytic-activated carbon. *Waste Management*, 343-356.
- Rodriguez, T., Botelho, D., & Cleto, E. (2008). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 24-38.
- Rozich, A., & Bordacs, K. (2002). use of thermophilic biological aerobic technology for industrial waste treatment. *Water Science Technology*, 83-89.
- Salihoglu, G., & Pinarli, V. (2008). Steel foundry electric arc furnace dust management: Stabilization by using lime and Portland cement. *Hazard Material*, 1110-1116.
- Santiago, E. B., & Calderón Ancona, J. M. (2005). Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua. *México: Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico "CENIDET"*.
- Sarudiansky, R., & Nielson, H. (2009). *Minería en la República Argentina*. Centro de Estudios para la Sustentabilidad.
- Stentiford, E. (2001). Aerobic digestion. In *Sludge into Biosolids: Processing, Disposal, Utilization*, 209-222.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. New York: McGraw-hill.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse. En M. & Edition, *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (págs. 1533-1546). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Technologies, U. (2009). *TURN-KEY ADVANCED OXIDATION PROGRAM HELPS REFINERY PROCESS STORED HIGH STRENGTH CAUSTIC WASTEWATER OUTAGE*. Atlanta GA: USP Technologies.
- Tiwari, B., Drogui, P., & Tyagi, R. (2020). Removal of emerging micro-pollutants from pharmaceutical industry wastewater. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 457-480.
- U.S.EPA. (1998). *Handbook of Advanced Photochemical Oxidation Processes*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- USEPA. (1990). *Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Wastewater Sludge*. Washington DC: United States Environmental Protection Agency.
- USEPA. (1994). A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. *United States Environmental Protection Agency*, EPA/832/R-93/003.
- Veeresh, G. S., Kumar, P., & Mehrotra, I. (2005). Treatment of phenol and cresols in upflowanaerobic sludge blanket (UASB) process: a review. *Water Research*, 154-170.
- Villegas, L. G., Mashhadi, N., Chen, M., Mukherjee, D., Taylor, K. E., & Biswas, N. (2016). A Short Review of Techniques for Phenol Removal from Wastewater. *WATER POLLUTION*, 157-167.
- Vipulanandan, C. (1996). EFFECT OF CLAYS AND CEMENT ON THE SOLIDIFICATION/STABILIZATION OF PHENOL-CONTAMINATED SOILS. *Waste Management*, 399-406.
- WEF. (1996). Operation of municipal wastewater treatment plants. *Manual of Practice*, 11.

Williams, P. (2005). *Waste Treatment and Disposal*. West Sussex: Wiley.

Wright, R. T. (1989). *Hazardous-waste landfill construction: The state of the art, in Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. New York: Mc Graw- Hill.

Xin, D., Chai, X., & Zhao, W. (2016). Hybrid cement-assisted dewatering, solidification and stabilization of sewage sludge with high organic content. *Material Cycles Waste Management*, 356-365.

Zaeem, Haider, R., & Sattar, H. (2023). Conventional and Emerging Practices in Hazardous Waste Management. En Z. Shareefdeen, *Hazardous Waste Management* (pág. 57).

Zhang, A., & Li, Y. (2014). Removal of phenolic endocrine disrupting compounds from waste activated sludge using UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation processes: Effects of reaction conditions and sludge matrix. *Science of the Total Environment*, 307-323.

## ANEXOS

### ANEXO 1

TABLA 1: PRINCIPALES OPERACIONES MINERAS METALÍFERAS DE ARGENTINA

Operación Minera	Producto principal	Provincia	Controlante
<b>Ajedrez</b>	Oro	Jujuy	Espíritu de los Andes S.A
<b>Cerro Moro</b>	Oro, Plata	Santa Cruz	Yamana Gold Inc.
<b>Cerro Negro</b>	Oro, Plata	Santa Cruz	Newmont Goldcorp
<b>Cerro Vanguardia</b>	Oro, Plata	Santa Cruz	AngloGold Ashanti Ltd   Fomicruz
<b>Don Nicolás</b>	Oro, Plata	Santa Cruz	Cerrado Gold Inc.
<b>Farallón Negro</b>	Oro, Plata	Catamarca	YMAD
<b>Gualcamayo</b>	Oro	San Juan	Mineros S.A
<b>Veladero</b>	Oro, Plata	San Juan	Barrick Gold Corporation   Shandong Gold
<b>Manantial Espejo</b>	Plata, Oro	Santa Cruz	Panamerican Silver Corp.
<b>Mina Martha</b>	Plata, Oro	Santa Cruz	Patagonia Gold Corp.
<b>Puna Operation</b>	Plata, Plomo, Zinc	Jujuy	SSR Mining
<b>San José</b>	Plata, Oro	Santa Cruz	Hochschild Mining Plc   McEwen Mining Inc.
<b>Aguilar</b>	Plomo, Plata Zinc	Jujuy	Glencore Plc.

TABLA 2: MINERÍA METALÍFERA EN ARGENTINA. PRINCIPALES PROYECTOS

Proyecto	Producto principal	Provincia	Estado actual	Controlante
<b>Andacollo</b>	Oro	Neuquén	Construcción	Trident Southern Exploración
<b>Córdoba</b>	Au aluvional	Jujuy	Construcción	Jiangxi Ganfeng Lithium Co., Ltd.   Lithium Americas Corp   JEMSE
<b>Lindero</b>	Oro	Salta	Construcción	Fortuna Silver Mines
<b>El Pachón</b>	Cobre	San Juan	Factibilidad	Glencore
<b>Lama</b>	Oro	San Juan	Factibilidad	Barrick Gold Corporation
<b>Potasio Colorado</b>	Río Potasio	Mendoza	Factibilidad	VALE
<b>Providencia</b>	Plata	Jujuy	Factibilidad	Hanaq Group
<b>Suyai</b>	Oro	Chubut	Factibilidad	Yamana Gold Inc.
<b>Agua Rica</b>	Cobre	Catamarca	Prefactibilidad	Yamana Gold Inc.   Glencore Plc.   Newmont Goldcorp
<b>Filo del Sol</b>	Cobre	San Juan	Prefactibilidad	Filo Mining Corp.
<b>Josemaría</b>	Cobre	San Juan	Prefactibilidad	Josemaria Resources Inc.
<b>San Jorge</b>	Cobre	Mendoza	Prefactibilidad	Solway Investment Ltd.
<b>Amarillo Grande</b>	Uranio	Río Negro	P.E.A	Blue Sky Uranium Corp.
<b>Diablillos</b>	Oro	Salta	P.E.A	AbraPlata Resources Corp.
<b>El Quevar</b>	Plata	Salta	P.E.A	Barrick Gold Corp.   Golden Minerals Co.
<b>Laguna Salada</b>	Uranio	Chubut	P.E.A	U3O8 100%

<b>Los Azules</b>	Cobre	San Juan	P.E.A	McEwen Mining
<b>Navidad</b>	Plata	Chubut	P.E.A	Pan American Silver Corp.
<b>Taca Taca</b>	Cobre	Salta	P.E.A	First Quantum
<b>Taguas</b>	Oro	San Juan	P.E.A	Orvana Minerals
<b>Altar</b>	Cobre	San Juan	Exploración avanzada	Aldebaran Resources   Silbanye Stillwater
<b>Calcatreu</b>	Oro	Río Negro	Exploración avanzada	Patagonia Gold
<b>Cerro Blanco</b>	Cobre	San Juan	Exploración avanzada	Argentina Mining Limited
<b>Cerro Solo</b>	Uranio	Chubut	Exploración avanzada	CNEA
<b>Claudia</b>	Oro	Santa Cruz	Exploración avanzada	Mirasol Resources
<b>Del Carmen</b>	Oro	San Juan	Exploración avanzada	Barrick Gold Corporation
<b>Don Otto</b>	Uranio	Salta	Exploración avanzada	CNEA
<b>Don Sixto</b>	Oro	Mendoza	Exploración avanzada	Yamana Gold
<b>Jagüelito</b>	Oro	San Juan	Exploración avanzada	Corporación América
<b>La Josefina</b>	Oro	Santa Cruz	Exploración avanzada	Hunt Mining Corp.
<b>La Manchuria</b>	Oro	Santa Cruz	Exploración avanzada	Patagonia Gold Plc.

<b>Laguna Colorada</b>	Uranio	Chubut	Exploración avanzada	CNEA
<b>Las Calandrias</b>	Oro	Santa Cruz	Exploración avanzada	New Dimension Resources Ltd.
<b>Lejano</b>	Plata	Santa Cruz	Exploración avanzada	Coeur D'Alene Mines Corporation
<b>Meseta Central</b>	Uranio	Chubut	Exploración avanzada	Ur América Ltd.
<b>Pingüino</b>	Oro	Santa Cruz	Exploración avanzada	Austral Gold
<b>Potasio</b>	Potasio	Neuquén	Exploración avanzada	Bunge y Servicios de Minería
<b>Río Grande</b>	Cobre	Salta	Exploración avanzada	Alderbaran Resources Inc.
<b>San Roque</b>	Oro	Río Negro	Exploración avanzada	Marifil Mines Ltd.
<b>Valle de Chita</b>	Cobre	San Juan	Exploración avanzada	Minsud Resources Corp.
<b>Virginia</b>	Oro	Santa Cruz	Exploración avanzada	Mirasol Resources

## ANEXO 2

TABLA 3: PARÁMETROS ESTABLECIDOS SEGÚN EL DECRETO 1211/07 EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN

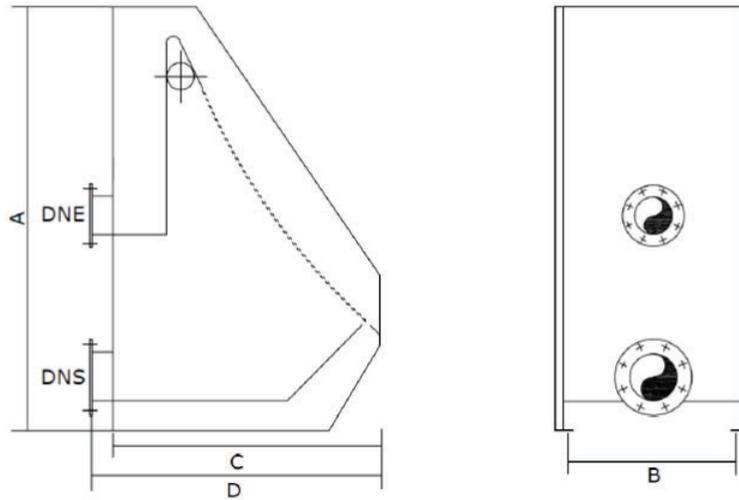
Parámetro	Fracción	Decreto 1211/07 Lodos
2,4 - D, (0=Aus; 1=Pres), mg/l	L	10
Aldrin, mg/L	L	0,003
Arsénico, mg/L	L	1
Atrazina-Pof, (0=Aus; 1=Pres)	L	ND
Bario, mg/L	L	100
Bifenilos Policlorados, mg/L	L	0,0000079
Cadmio, mg/L	L	0,5

Chlordane, mg/L	L	0,03
Cianuro, mg/Kg MS	T	250
Cobre, mg/L	L	100
Cromo, mg/L	L	5
DIELDRIN, mg/L	L	0,003
Endosulfan Sulfate, mg/L	L	7,4
Fenoles, mg/L	L	0,1
Heptachlor Epoxide, mg/L	L	0,01
Heptacloro (Heptachlor), mg/L	L	0,01
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares, mg/L	L	0,00028
Inflamabilidad, C	T	>60°
Lindano, mg/L	L	0,3
Líquidos Libres, (0=Aus; 1=Pres)	T	ND
MCPA, (0=Aus; 1=Pres)	L	0
Mercurio, mg/L	L	0,1
Metoxicloro (Methoxychlor), mg/L	L	3
Níquel, mg/L	L	1,34
Nivel de estabilización, % <sup>1</sup>	T	>90
Paraquat, (0=Aus; 1=Pres)	L	0
pH 1 de Laboratorio, Unidad de pH	T	12
pH 2 de Laboratorio, Unidad de pH	T	12
pH 3 de Laboratorio, Unidad de pH	T	12
Plata, mg/L	L	5
Plomo, mg/L	L	1
Selenio, mg/L	L	1
Sólidos, %	T	≥20
Sólidos Volátiles, %	T	≥40
Sulfuros, mg/Kg MS	T	500
Trifluoralina, (0=Aus; 1=Pres)	L	0
Zinc, mg/L	L	500

## ANEXO 3

Figura 1: Medidas y plano tamiz estático elegido.

<sup>1</sup> Atendiendo que la norma indica que el valor de deflexión de oxígeno debe ser menor al 10%, esto implica tácitamente que el nivel de estabilización debe ser superior al 90%



MODELO	A (mm)	B útil/total (mm)	C (mm)	D (mm)	Brida entrada DN	Brida salida DN	Peso (Kg)
TES-12-600	1220	600 / 690	960	1060	100	125	155
TES-12-800	1220	900 / 1040	960	1060	125	150	210
TES-12-1200	1220	1200 / 1260	960	1060	200	250	295
TES-15-600	1470	600 / 690	1176	1276	250	300	180
TES-15-800	1470	900 / 1040	1176	1276	250	350	247
TES-15-1200	1470	1200 / 1260	1176	1276	300	350	375
TES-20-975	1860	975 / 1040	1488	1588	400	400	375
TES-20-1500	1860	1500 / 1565	1488	1588	-	-	450
TES-20-2000	1860	1950 / 2015	1488	1588	-	-	570

MEDIDAS TAMICES ESTÁTICOS

Figura 2: Medidas y plano tamiz estático elegido.

MODELO	CAUDALES (m3/h)					
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
TES-12-600	16	23	28	32	37	43
TES-12-800	26	37	44	51	55	59
TES-12-1200	30	45	56	62	72	80
TES-15-600	22	31	38	44	51	58
TES-15-800	34	49	59	68	80	90
TES-15-1200	55	65	82	90	105	113
TES-20-975	48	68	82	96	112	130
TES-20-1500	74	105	126	147	172	185
TES-20-2000	96	137	164	191	224	240

## ANEXO 4

Figura 3: Ficha técnica tuberías de PVC tuboforte.

Código	Diám. (mm)	Esp (mm)	Long. (m)	Presión (kg/cm2)
FORTENOR POTABLE CLASE 6 - Junta Elástica				
T6050*6	50	1,7	6	6
T6063*6	63	1,9	6	6
T6075*6	75	2,2	6	6
T6090*6	90	2,7	6	6
T6110*6	110	3,2	6	6
T6125*6	125	3,7	6	6
T6140*6	140	4,1	6	6
T6160*6	160	4,7	6	6
T6200*6	200	5,9	6	6
T6250*6	250	7,3	6	6
T6315*6	315	9,2	6	6
T6355*6	355	10,4	6	6
T6400*6	400	11,7	6	6
T6500*6	500	14,6	6	6
T6630*6	630	18,4	6	6

## ANEXO 5

TABLA 4: CANTIDAD DE ACCESORIOS EN CADA TRAMO Y SUS CONSTANTES.

Tramo	N° válvulas de compuerta abierta	K válvula	N° codos de 90 estándar	K Codo de 90	N° Tubo en T con salida lateral	K tubo en T
1A	1	0.15	2	0.7	0	0.4
1B	1	0.15	2	0.7	0	0.4
2A	1	0.15	2	0.7	1	0.4
2B	1	0.15	1	0.7	0	0.4
2C	1	0.15	2	0.7	0	0.4
2D	1	0.15	2	0.7	1	0.4
2E	1	0.15	1	0.7	0	0.4
2F	1	0.15	2	0.7	0	0.4
4A	1	0.15	3	0.7	0	0.4
Relleno	1	0.15	2	0.7	0	0.4

ANEXO 6

FIGURA 4: FICHA TÉCNICA DE LAS BOMBAS ELEGIDAS. PROVEEDOR GRUNDFOS.



**Empresa:**  
**Creado Por:**  
**Teléfono:**

**Datos:** 24/09/2023

Descripción	Valor
<b>Información general:</b>	
Producto:	SLV.80.80.11.4.50D.C
Código:	98625975
Número EAN:	5711498463585
Precio:	
<b>Técnico:</b>	
Caudal máximo:	58 m³/h
Altura máxima:	8.1 m
Tipo de impulsor:	SUPER VORTEX
Diámetro máximo de las partículas:	80 mm
Cierre primario:	SIC/SIC
Homologaciones en la placa de características:	CE EN12050-1
Tolerancia de curva:	ISO9906:2012 3B2
Camisa de refrigeración:	N
Velocidad nominal del accionador:	1452 rpm
<b>Materiales:</b>	
Carcasa de la bomba:	Hierro fundido
Carcasa de la bomba:	EN 5.1301 EN-GJL-250
Impulsor:	Fundición
Impulsor:	EN 5.1301 EN-GJL-250
Motor:	EN-GJL-250
<b>Instalación:</b>	
Rango de temperaturas ambientes:	0 .. 40 °C
Presión de trabajo máxima:	6 bar
Normativa de brida:	DIN
Tipo de conexión de entrada:	DIN
Tipo de conexión de salida:	DIN
Tamaño de la conexión de entrada:	DN 80
Tamaño de la conexión de salida:	DN 80
Presión nominal:	PN 10
Profundidad máxima de instalación:	7 m
Inst. en seco/húmeda:	SUBMERGED
Instalación:	Vertical
Autoacoplamiento:	96090993
Alcance de la estructura:	B
<b>Líquido:</b>	
Rango de temperatura del líquido:	10 .. 40 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
<b>Datos eléctricos:</b>	
Potencia de entrada - P1:	1.4 kW
Potencia nominal - P2:	1.1 kW
Frecuencia de red:	50 Hz
Tensión nominal:	3 x 380-415 V
Toler. tensión:	+10/-10 %
Arranques máx. por hora:	20
Intensidad nominal:	2.9 A
Cos phi - Factor de potencia:	0.71
Cos phi - Factor de potencia a 3/4 de carga:	0.62
Cos phi - Factor de potencia a 1/2 de carga:	0.49
Velocidad nominal del accionador:	1452 rpm
Eficiencia del motor a carga total:	83.3 %
Eficiencia del motor a una carga de 3/4:	82.8 %
Eficiencia del motor a una carga de 1/2:	80.2 %
Número de polos:	4

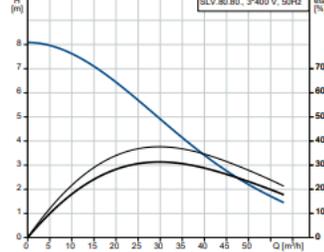
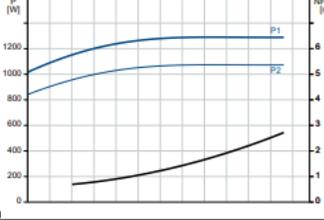
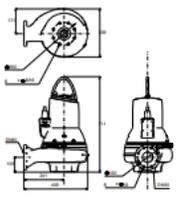
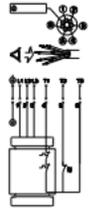





FIGURA 5: FICHA TÉCNICA DE LAS BOMBAS ELEGIDAS. PROVEEDOR GRUNDFOS.

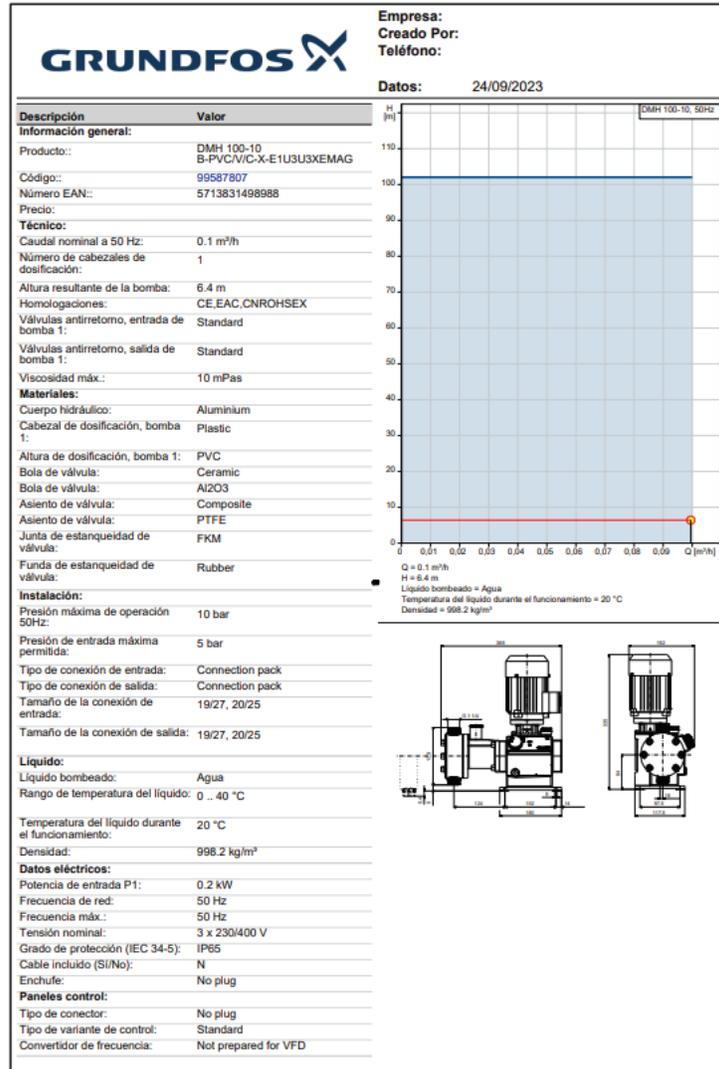
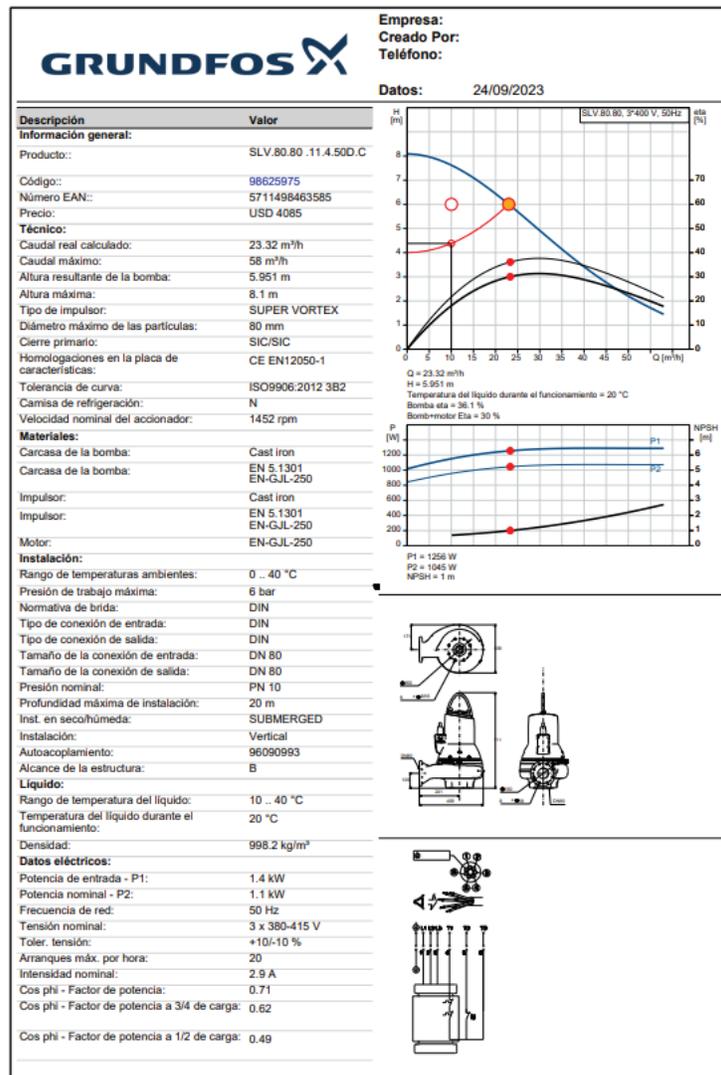
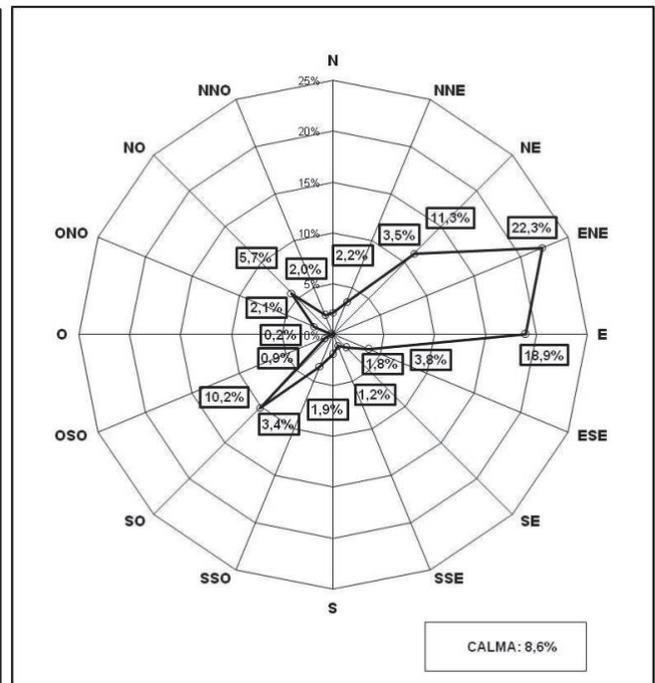
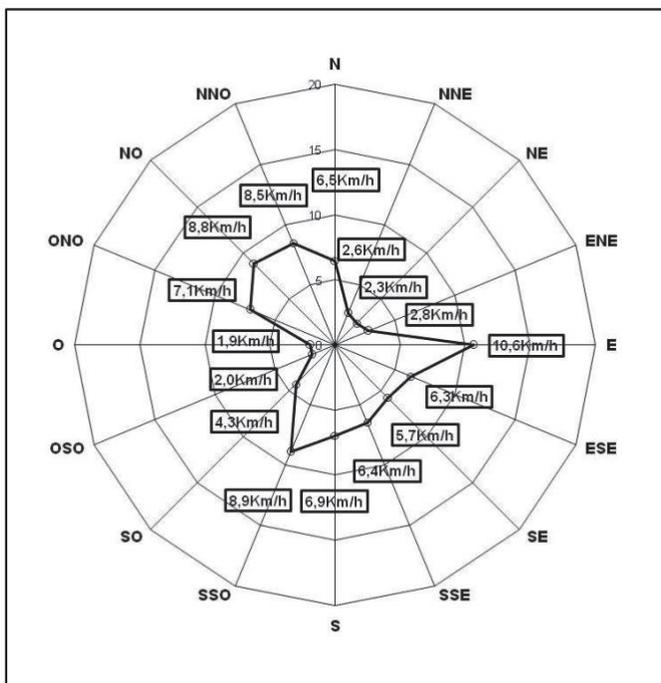
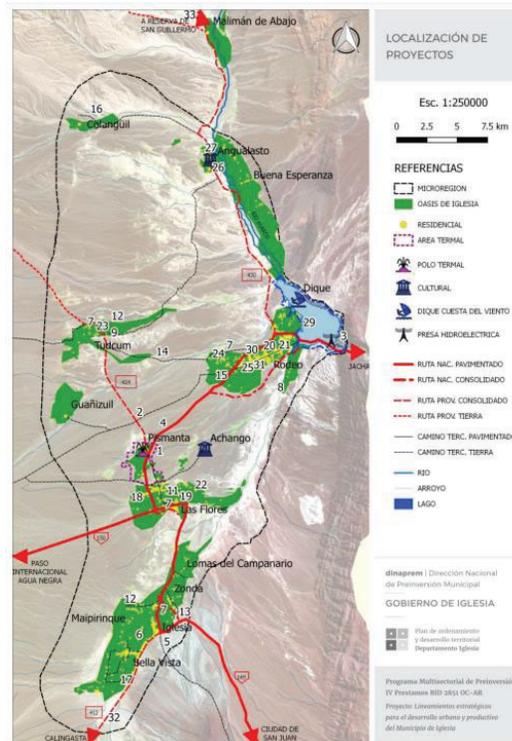


FIGURA 6: FICHA TÉCNICA DE LAS BOMBAS ELEGIDAS. PROVEEDOR GRUNDFOS.



ANEXO 7

FIGURA 7: MAPA HIDROLÓGICO Y ROSA DE LOS VIENTOS DEL ÁREA DEL PROYECTO.



ANEXO 8

FIGURA 8: FICHA TECNICA DEL MEZCLADOR ELEGIDO PARA EL PRETRATAMIENTO DE LOS LODOS.

**MEZCLADORA**  
+ CARACTERÍSTICAS | DATOS TÉCNICOS | VENTAJAS
**MODELO MH**

**CARACTERÍSTICAS**

Las mezcladoras helicoidales o Ribbon Blender, son máquinas utilizadas para mezclar u homogeneizar mezclas. Tienen como estructura central en forma de "U", dentro de la cual está el agitador de las cintas. Como su nombre lo indica, las cintas o impulsor tiene forma helicoidal. Las cintas helicoidales están montadas sobre un mismo eje, este es el que les dará el movimiento.

**TIPO DE PROCESOS**

Las mezcladoras de cintas helicoidales tienen dos formas de procesamiento de productos:

- Por cargas: Se establece una carga determinada del producto a mezclar. Una vez que se terminó el proceso de mezclado de esa carga, es retirada y se le introduce una segunda.
- Alimentación continua: En este caso se tiene una boca de alimentación y otra de salida. El material a mezclar se introduce constantemente por la boca de alimentación y sale por la boca de salida sin detener el proceso para cambiar la carga.

**TIPO DE INDUSTRIA**

Estos mezcladores son extensivamente utilizado en las industrias alimenticias, farmacéuticas, químicas, petroquímicas, pesticidas, recubrimientos, cosmética, plástico y pigmentos. El mezclador de cinta es adecuado para mezclar materiales en diferentes industrias.

FARMACÉUTICO
COSMÉTICA
EFLUENTES

QUÍMICA
PETROQUÍMICA
ALIMENTICIO

MINERÍA

**VENTAJAS**

El tiempo de mezclado que puede llevar de 10 a 15 minutos con una homogenización y uniformidad completa. El eje es desmontable e intercambiable.

- Apto para las aplicaciones exigentes.
- Excelente rendimiento.
- Fácil instalación/ montaje/ desmontaje.
- Mayor ciclo de vida útil
- Intercambiabilidad de los componentes.

**01 RODAMIENTO**  
Características  
A rodillos con tuerca de seguridad, están ubicados sobre soporte de fijación y lubricación, soportan grandes cargas axiales y radiales.  
Marca: SKF - Cantidad: 2

**03 BATA**  
Características  
Parte central y donde se produce el proceso de mezcla, puede ser desmontable, con 2 tapas y de carga control o según el impulsor.  
- Material: AISI 304/316  
- Pulido sanitario o industrial

**05 IMPULSOR**  
Características  
Se caracterizan por tener uno o varios sentidos de correa según lo requiera el producto y el tipo de descarga, realizadas por planchuelas y refuerzos.  
- Material: AISI 304/316  
- Pulido sanitario o industrial

**07 ESTANQUEIDAD**  
Características  
Sistema sellado doble dependiendo el tipo de producto puede ser con prensa estopa y sello lo cual lo hace versátil con líquidos.  
- Material: AISI 304/316/Viton/ Silicona/ Teflon

**10 REDUCTOR**  
Características  
Reductor con engranajes helicoidales de ejes cascales, con alto rendimiento mecánico, logrado obtener mejores torques en los impulsores.  
Marca: SEW EURODRIVE

**12**

**13**

**ESQUEMA**

**MEZCLADORAS CONFIGURACION**

Modelos	Potencia	RPM	A	B	C	D	Peso
MH-3	3 HP	61	950	946	1911	1170	MH-3
MH-5	5,5 HP	42	1370	896	2281	1380	MH-5
MH-10	10 HP	36	1620	1116	2751	1510	MH-10
MH-15	15 HP	31	1850	1424	3294	1630	MH-15
MH-20	20 HP	28	2040	1690	3950	1720	MH-20
E-E	E-E	E-E	E-E	E-E	E-E	E-E	E-E

**ACLARACIONES**

- RPM: Sujeto a modificaciones según tipo de producto.
- A: Largo de la batía.
- B: Largo motor.
- C: Largo total.
- D: Alto de la batía.
- E: Ancho de batía.
- E-E: Equipos especiales, selector carbón.

**OPCIONES**

- Material: AISI 304/ 316/ SAE 1010.
- Engranajes: Doble modulación/ Prensa estopa/ Nylon.
- Tapa de carga.
- Tablero eléctrico.
- Impulsiones: Helicoidal/ Doble cinta/ Paralela.
- Tapas: Kijal/ Refuerzos.
- Sistema de limpieza CIP.

Nazca 1260 | San Justo | Buenos aires | Argentina
info@my-mixing.com.ar
(54-11) 4482-1170/ 1440
Nazca 1260 | San Justo | Buenos aires | Argentina
info@my-mixing.com.ar
(54-11) 4482-1170/ 1440

ANEXO 9

FIGURA 9: FICHA TECNICA DE LAS MEMBRANAS ELEGIDAS PARA EL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO DE SEGURIDAD

**PlusTene®**

FICHA  
 TECNICA

**PlusTene® S1500 LL**

Lámina de polietileno de alta densidad (PEAD) estabilizado con negro de humo de 1,50mm de espesor, con ambas caras lisas, de características homogéneas y estables.

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Resistencia a la fluencia	22	kN/m	ASTM D 6693
Resistencia a la rotura	40	kN/m	ASTM D 6693
Elongación a la fluencia	12	%	ASTM D 6693
Elongación a la rotura	700	%	ASTM D 6693
Rasgado	187	N	ASTM D 1004
Punzonamiento	480	N	ASTM D 4833
Resistencia a la rotura por tensión (promedio)	500	Hs	ASTM D 5397

**DURABILIDAD**

Tiempo inducción oxidante estándar	100	Min.	ASTM D 3895
Tiempo inducción oxidante alta presión	400	Min.	ASTM D 5885
Envejecimiento horno 85°C estándar	55	%	ASTM D 3895
Envejecimiento horno 85°C alta presión	80	%	ASTM D 5885
Resistencia U.V. estándar	No recomendado		ASTM D 3895
Resistencia U.V. alta presión	50	%	ASTM D 5885

**CARACTERÍSTICAS**

Espesor	1.50	mm	ASTM D 5199
Densidad	Min 0,940	g/cm3	ASTM D 1505 – ASTM D 792
Contenido negro de humo	2 – 3	%	ASTM D 4218
Dispersión de negro de humo	1 o 2	categoría	ASTM D 5596

**PRESENTACIÓN**

Ancho x Largo	7.00 x 100	m x m
Superficie	700	m²

Todos los valores de esta tabla corresponden a resultados MARV (minimum average roll value) de ensayos estándar propios o provistos por nuestros proveedores.

Las especificaciones y características descritas pueden ser modificadas a partir de desarrollos tecnológicos adoptados por nuestros proveedores. En todos los casos el proyectista debe verificar, en las condiciones particulares de cada obra, la aptitud del producto y los resultados que pueden derivarse de su aplicación. La decisión de uso del producto es exclusiva responsabilidad del proyectista y el usuario.

PlusTene® es marca registrada de Coripa S.A. 210000  
 info@coripa.com.ar  
 coripa.com.ar



**PlusTene®**

FICHA  
 TECNICA

**PlusTene® S1500 LL**

Lámina de polietileno de alta densidad (PEAD) estabilizado con negro de humo de 1,50mm de espesor, con ambas caras lisas, de características homogéneas y estables.

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Resistencia a la fluencia	22	kN/m	ASTM D 6693
Resistencia a la rotura	40	kN/m	ASTM D 6693
Elongación a la fluencia	12	%	ASTM D 6693
Elongación a la rotura	700	%	ASTM D 6693
Rasgado	187	N	ASTM D 1004
Punzonamiento	480	N	ASTM D 4833
Resistencia a la rotura por tensión (promedio)	500	Hs	ASTM D 5397

**DURABILIDAD**

Tiempo inducción oxidante estándar	100	Min.	ASTM D 3895
Tiempo inducción oxidante alta presión	400	Min.	ASTM D 5885
Envejecimiento horno 85°C estándar	55	%	ASTM D 3895
Envejecimiento horno 85°C alta presión	80	%	ASTM D 5885
Resistencia U.V. estándar	No recomendado		ASTM D 3895
Resistencia U.V. alta presión	50	%	ASTM D 5885

**CARACTERÍSTICAS**

Espesor	1.50	mm	ASTM D 5199
Densidad	Min 0,940	g/cm3	ASTM D 1505 – ASTM D 792
Contenido negro de humo	2 – 3	%	ASTM D 4218
Dispersión de negro de humo	1 o 2	categoría	ASTM D 5596

**PRESENTACIÓN**

Ancho x Largo	5.00 x 50	m x m
Superficie	250	m²

Todos los valores de esta tabla corresponden a resultados MARV (minimum average roll value) de ensayos estándar propios o provistos por nuestros proveedores.

Las especificaciones y características descritas pueden ser modificadas a partir de desarrollos tecnológicos adoptados por nuestros proveedores. En todos los casos el proyectista debe verificar, en las condiciones particulares de cada obra, la aptitud del producto y los resultados que pueden derivarse de su aplicación. La decisión de uso del producto es exclusiva responsabilidad del proyectista y el usuario.

PlusTene® es marca registrada de Coripa S.A. 210000  
 info@coripa.com.ar  
 coripa.com.ar



# PlusTex® N

FICHA  
TECNICA

## PlusTex® N 200

Geotextil Notejido agujado de filamentos continuos de poliéster (PET) estabilizados a los U.V.

### PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia Tracción faja ancha	10	kN/m	IRAM 78012 / ASTM D-4595
Deformación faja ancha	60	%	IRAM 78012 / ASTM D-4595
Resistencia Tracción GRAB	750	N	IRAM 78018 / ASTM D-4632
Elongación GRAB	60	%	IRAM 78018 / ASTM D-4632
Resistencia al Punzonado	340	N	ASTM D-4833
Resistencia al Punzonado CBR	2.1	kN	IRAM 78011 / ASTM D-6241
Resistencia al Desgarro Trapezoidal	360	N	IRAM 78017 / ASTM D-4533

### PROPIEDADES HIDRÁULICAS

Abertura de poros aparente (AOS)	0.21	mm	IRAM 78006 / ASTM D-4751
Permisividad	2.0	s <sup>-1</sup>	IRAM 78007 / ASTM D-4491
Flujo de agua	110	l/s/m <sup>2</sup>	IRAM 78007 / ASTM D-4491

### DURABILIDAD

Resistencia UV (resistencia retenida)	a 500 hs	>75	%	ASTM D-4355
---------------------------------------	----------	-----	---	-------------

### CARACTERÍSTICAS

Materia prima 100% Poliéster virgen

### PRESENTACIÓN

Ancho x Largo	4.60 x 200	m x m
Superficie	920	m <sup>2</sup>
Color	Gris o Negro	

Todos los valores de esta tabla corresponden a resultados típicos de ensayos estándar propios o provistos por nuestros proveedores, los cuales certifican su producción bajo normas de calidad ISO 9001.

*Las especificaciones y características descriptas pueden ser modificadas a partir de desarrollos tecnológicos adoptados por nuestros proveedores. En todos los casos el proyectista debe verificar, en las condiciones particulares de cada obra, la aptitud del producto y los resultados que pueden derivarse de su aplicación. La decisión de uso del producto es exclusiva responsabilidad del proyectista y el usuario.*

PlusTex® es marca registrada de Coripa S.A. 200400

info@coripa.com.ar  
coripa.com.ar

coripa

# PlusDren®

FICHA  
TECNICA

## PlusDren® GNT 900 R

Malla plana compuesta por listones de polietileno superpuestos de 5mm de espesor. Apta para el drenaje planar de líquidos y gases.

### PROPIEDADES

Espesor	5	mm	IRAM 78004-1
Masa por unidad de área	725	g/m <sup>2</sup>	IRAM 78002
Densidad	>0.940	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D-792
Resistencia a la tracción	7	kN/m	IRAM 78012
Resistencia a la compresión	350	kPa	ASTM D-1621
Transmisividad *	2.5 x 10 <sup>-3</sup>	m <sup>2</sup> /s	ASTM D 4716

\* El ensayo se realizó con un gradiente de 0.1 y una presión aplicada de 20 kPa

### PRESENTACIÓN

Ancho x Largo	2.15 x 50	m x m
Superficie	107.5	m <sup>2</sup>

Todos los valores de esta tabla corresponden a resultados típicos de ensayos estándar propios o provistos por nuestros proveedores, los cuales certifican su producción bajo normas de calidad ISO 9001.

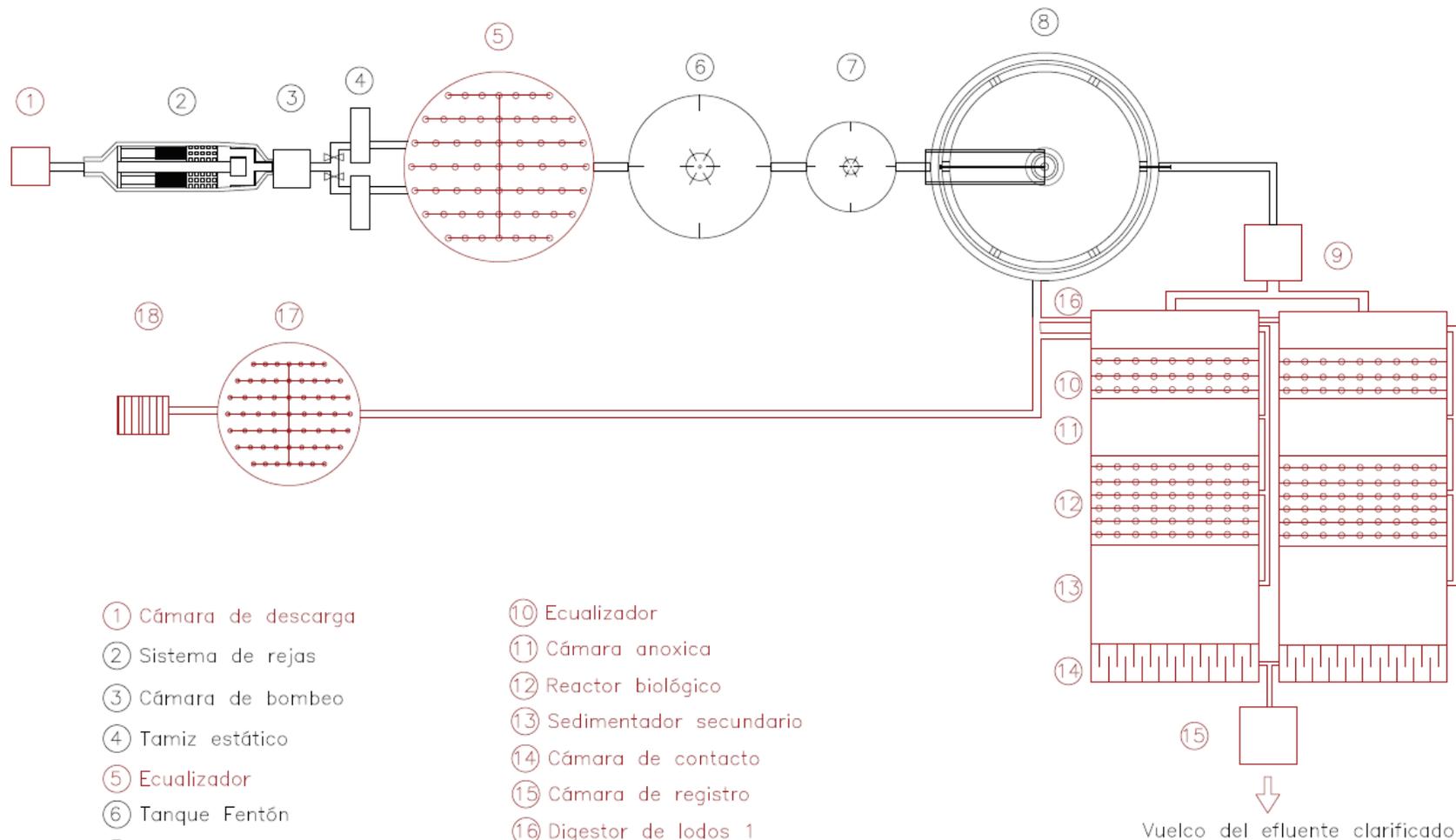
*Las especificaciones y características descriptas pueden ser modificadas a partir de desarrollos tecnológicos adoptados por nuestros proveedores.*

*En todos los casos el proyectista debe verificar, en las condiciones particulares de cada obra, la aptitud del producto y los resultados que pueden derivarse de su aplicación. La decisión de uso del producto es exclusiva responsabilidad del proyectista y el usuario.*

PlusDren® es marca registrada de Coripa S.A.

200400

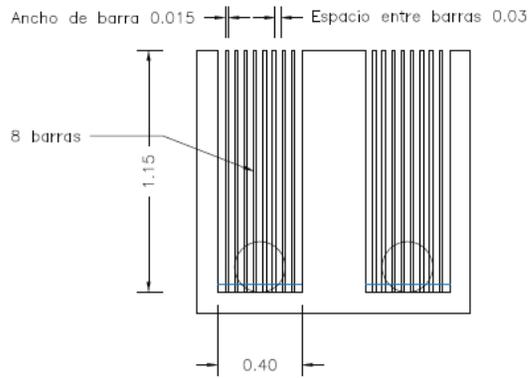
## ANEXO 10: PLANOS



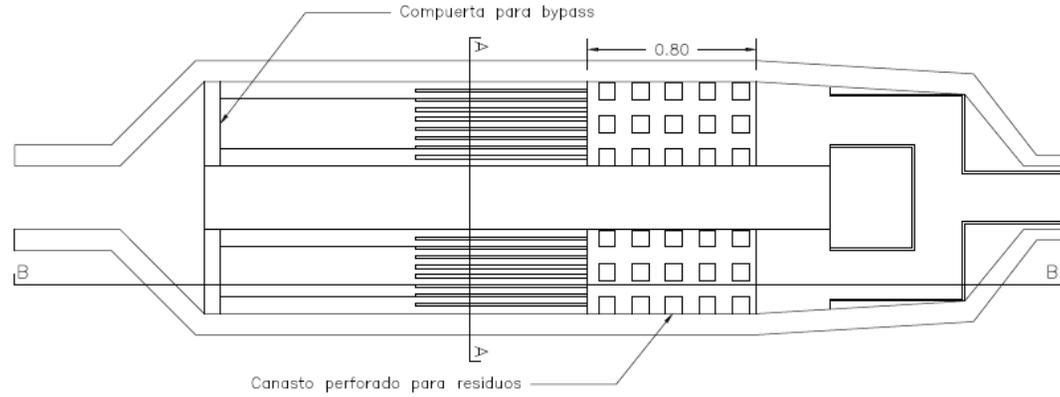
- ① Cámara de descarga
- ② Sistema de rejas
- ③ Cámara de bombeo
- ④ Tamiz estático
- ⑤ Ecualizador
- ⑥ Tanque Fentón
- ⑦ Tanque de ajuste pH
- ⑧ Sedimentador primario
- ⑨ Cámara de bombeo
- ⑩ Ecualizador
- ⑪ Cámara anóxica
- ⑫ Reactor biológico
- ⑬ Sedimentador secundario
- ⑭ Cámara de contacto
- ⑮ Cámara de registro
- ⑯ Digestor de lodos 1
- ⑰ Digestor de lodos 2
- ⑱ Filtro prensa

Nota: Las unidades representadas en rojo son preexistentes

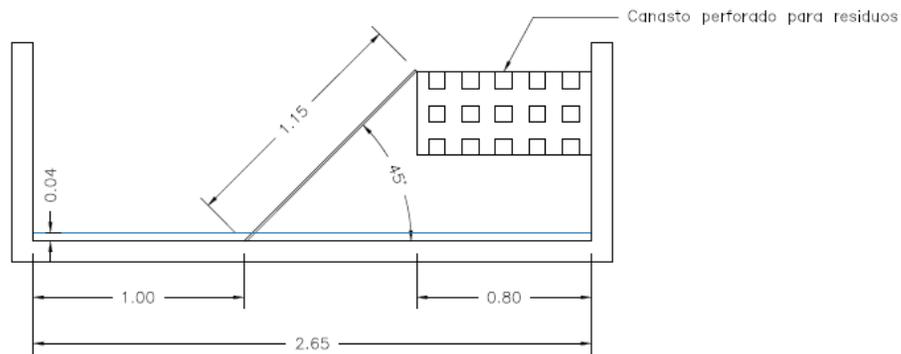
Dibujó:	Magali Vilariño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	 <b>3iA</b> <small>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL</small> <small>Facultad de Ciencias y Tecnología</small> <small>Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental</small>
Revisó:			Tratamiento de fenoles en el efluente doméstico de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	1:100			Alumna:
Plano Nº	1			Magali Vilariño
	Planta general			Carrera:
				Ingeniería Ambiental



Corte A-A 1:20

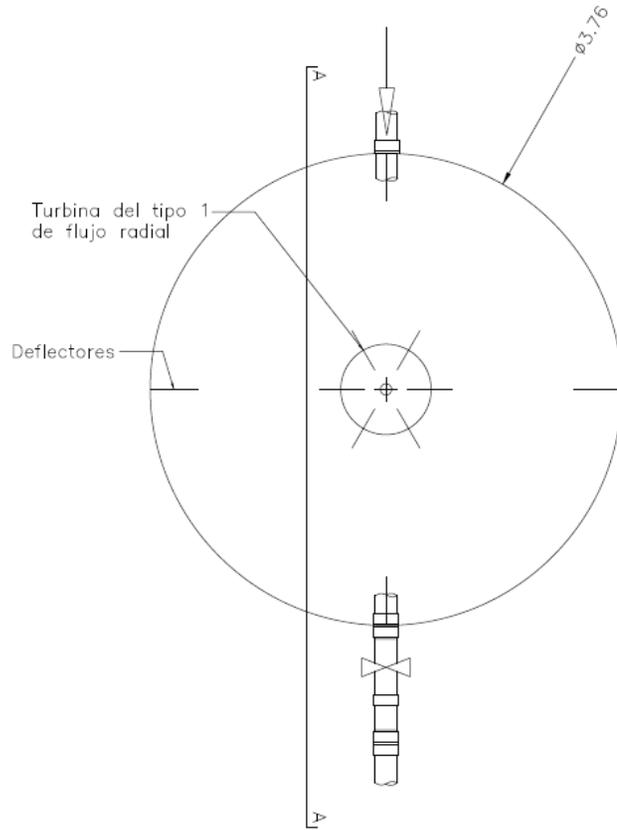


Vista superior 1:20

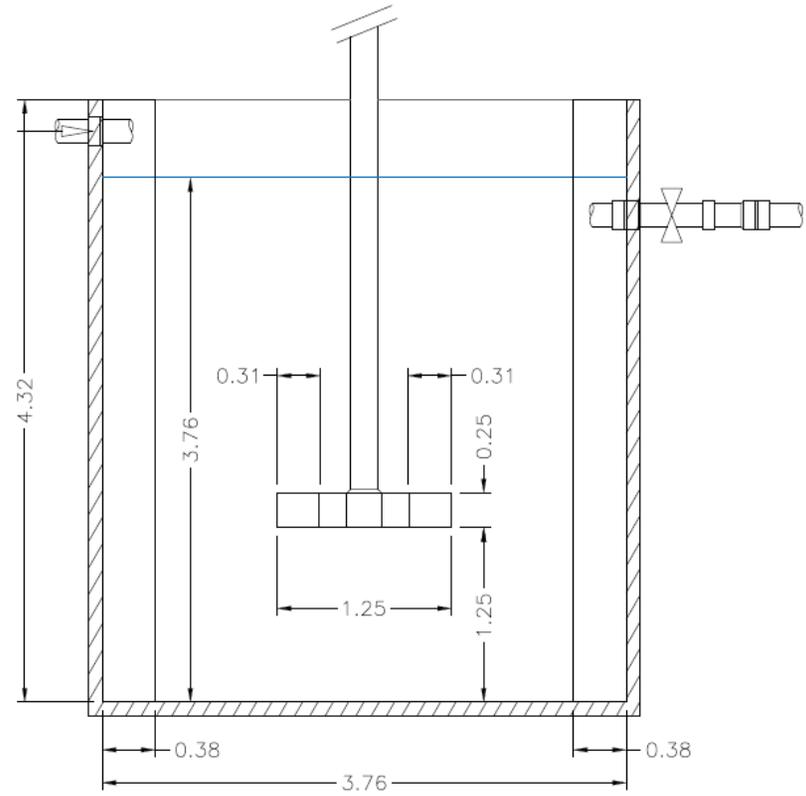


Corte B-B 1:20

Dibujó:	Magali Vilariño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	 <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN</small> <small>INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES</small> <small>Facultad de Ciencia y Tecnología</small> <small>Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental</small>
Revisó:			Tratamiento de fenoles en el efluente doméstico de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	1:20			Alumna:
Plano N°:	2			Magali Vilariño
	Sistema de rejas			Carrera:
				Ingeniería Ambiental

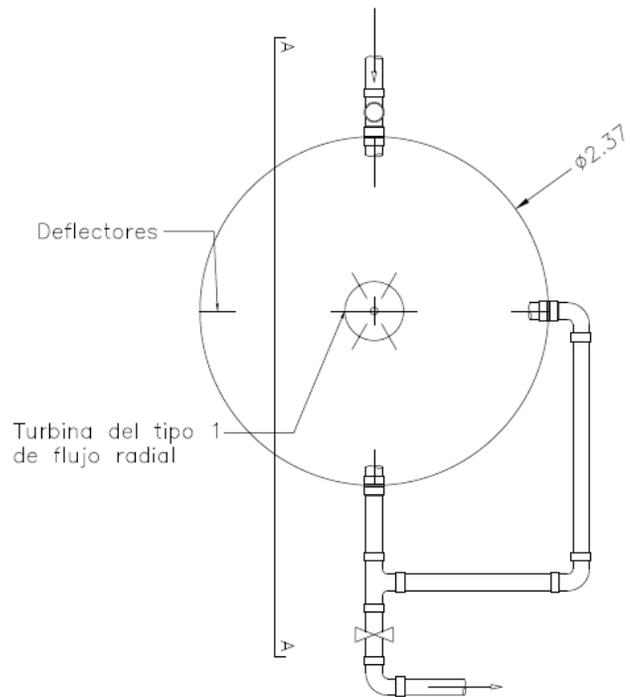


Vista superior 1:30

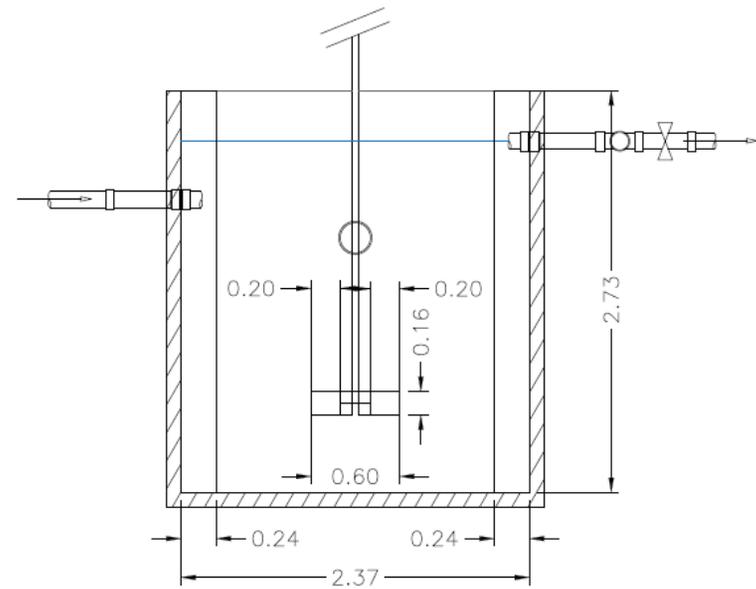


Corte A-A 1:30

Dibujó:	Magalí Vilariño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	 <b>3IA</b> <small>SECRETARÍA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS</small> Facultad de Ciencias y Tecnología Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Revisó:			Tratamiento de fenoles en el efluente doméstico de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	1:30			Alumna:
Plano Nº:	3			Magalí Vilariño
	<b>Tanque Fentón</b>			Carrera:
				Ingeniería Ambiental

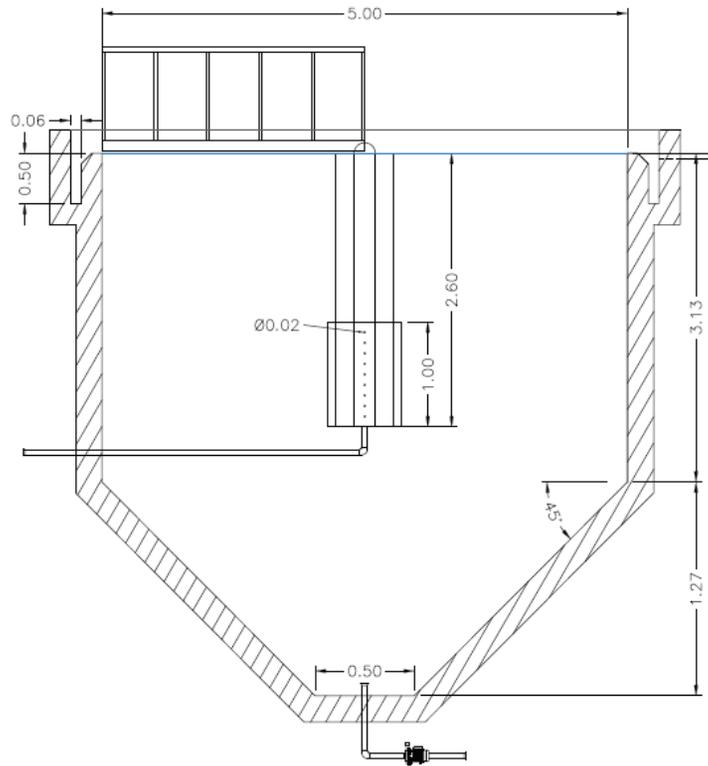


Vista superior 1:30

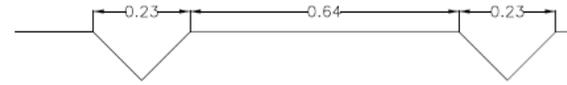


Corte A-A 1:30

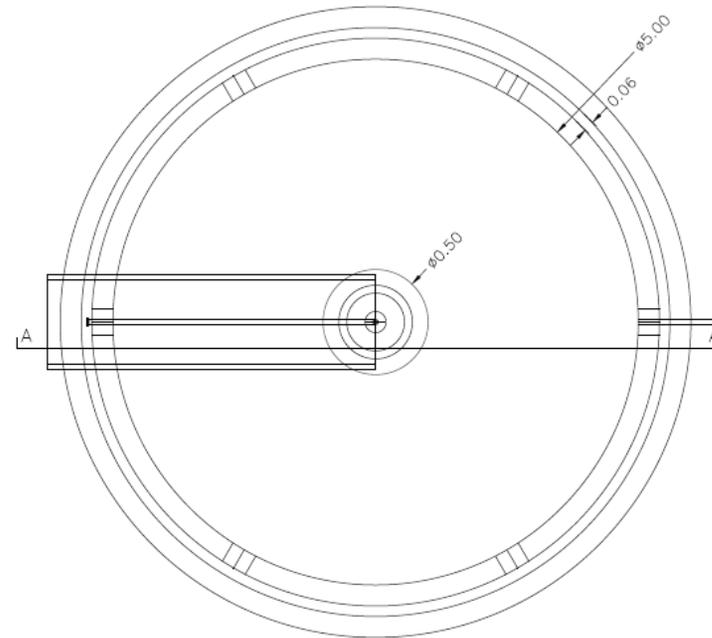
Dibujó:	Magali Vilatiño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	 <b>3iA</b> <small>INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL</small> Escuela de Ciencia y Tecnología Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Revisó:			Tratamiento de fenoles en el efluente doméstico de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	Tanque PH			Alumna:
1:30				Magali Vilatiño
Plano N°:				Carrera:
4		Ingeniería Ambiental		



Corte A-A 1:40

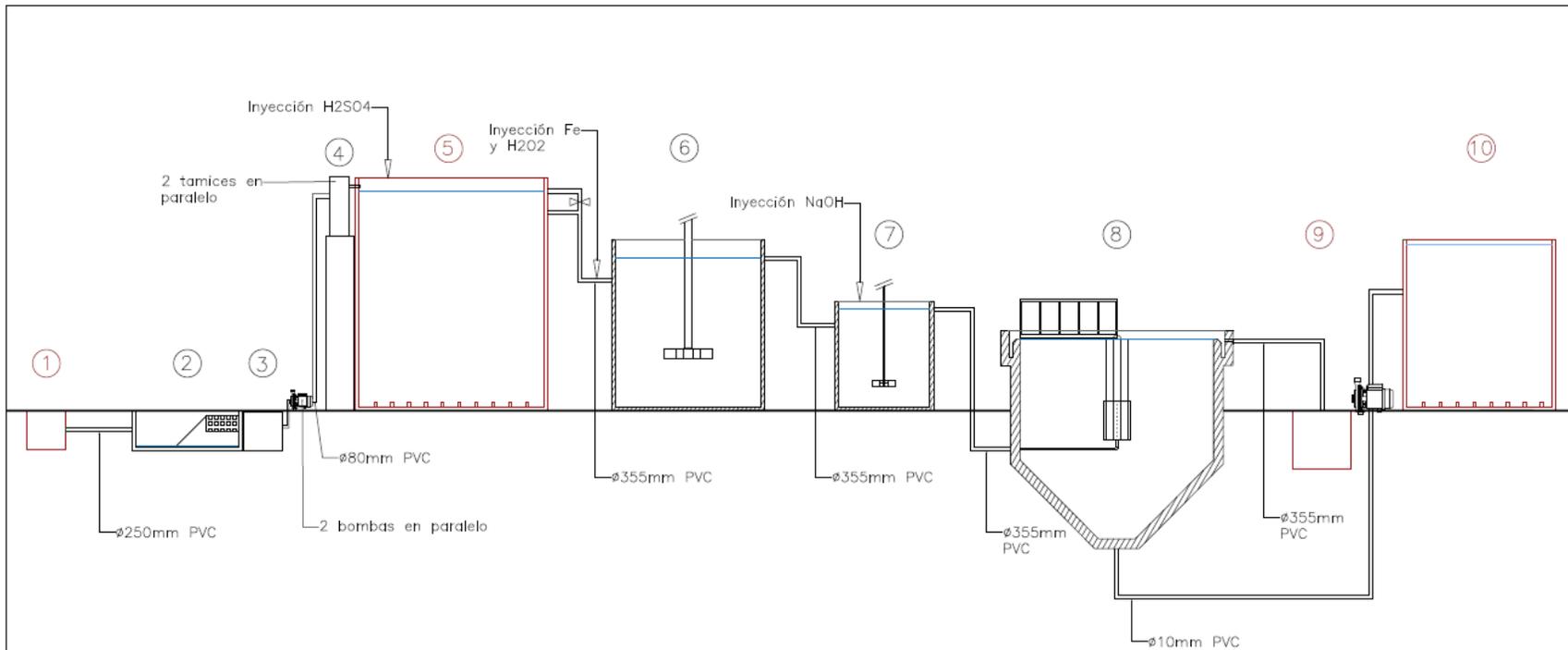


Vertedero tipo Thomson 1:10 6 en total



Vista superior 1:40

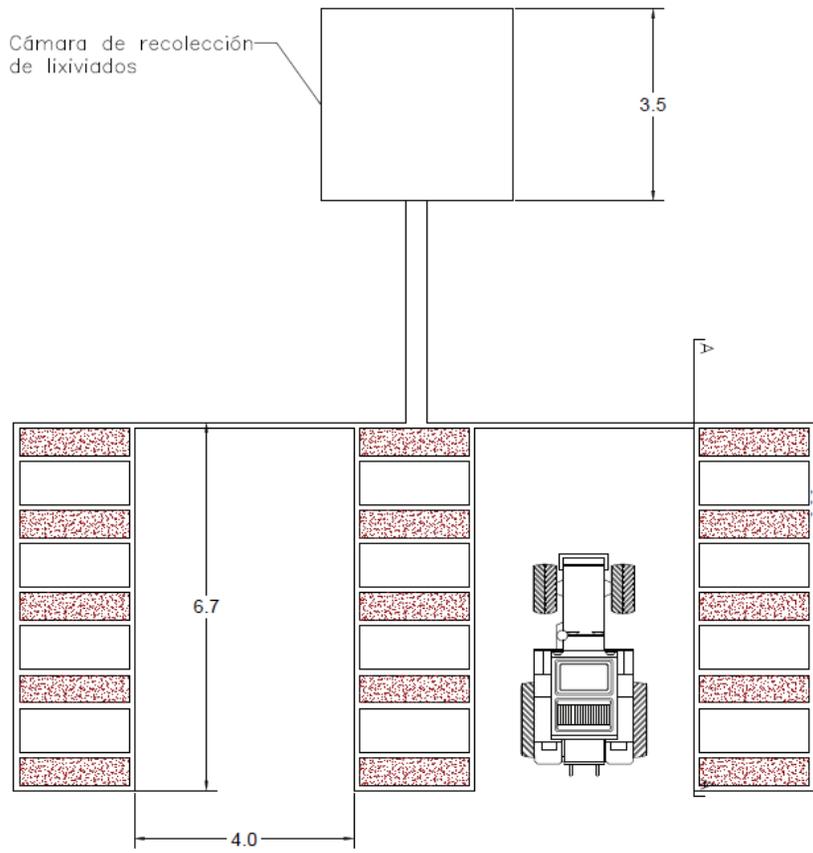
Dibujó:	Magali Vilatiño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	  ESCUELA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL
Revisó:			Tratamiento de fangos en el efluente doméstico de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	1:40			Alumna:
Plano N°:	5			Magali Vilatiño
	Sedimentador primario			Carrera:
				Ingeniería Ambiental



- ① Cámara de descarga
- ② Sistema de rejas
- ③ Cámara de bombeo
- ④ Tamiz estático
- ⑤ Ecuador
- ⑥ Tanque Fentón
- ⑦ Tanque de ajuste pH
- ⑧ Sedimentador primario
- ⑨ Cámara de bombeo
- ⑩ Digestor de lodos

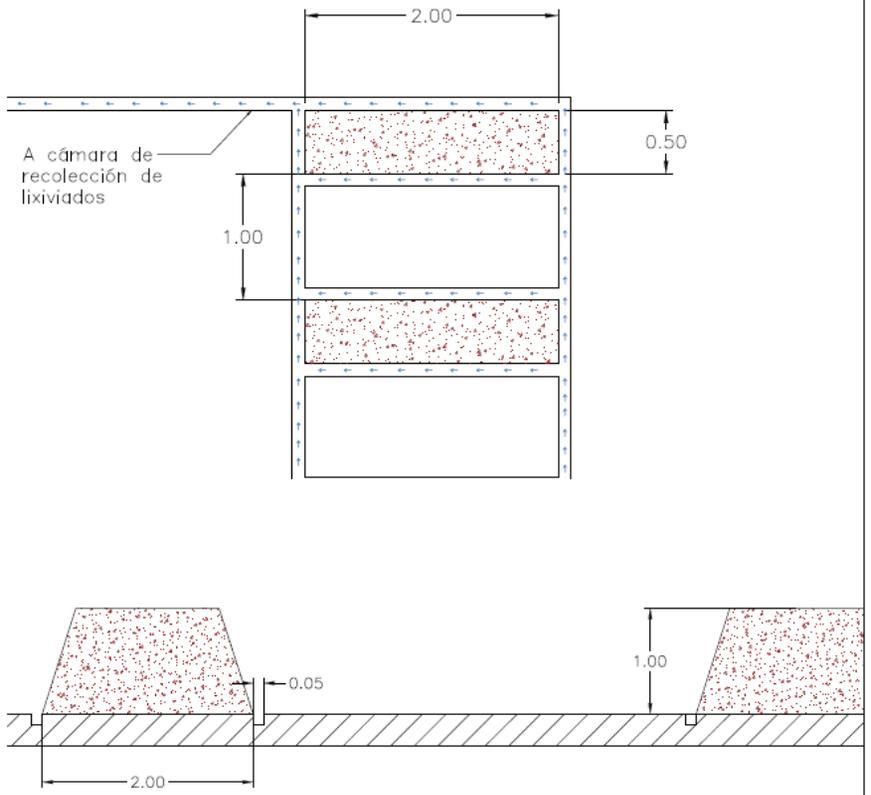
Nota: Las unidades representadas en rojo son preexistentes

Dibujó:	Magali Vilariño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	
Revisó:			Tratamiento de fenoles en el efluente condensado de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	Perfil hidráulico			Alumna:
1:100				Magali Vilariño
Plano N°				Carrera:
6		Ingeniería Ambiental		



Vista superior 1:10

Detalle Vista superior 1:30



Corte A-A 1:30

Dibujó:	Magali Vilariño	11-09-2023	Proyecto Final Integrador	
Revisó:			Tratamiento de fenoles en el efluente doméctico de un campamento minero	
Aprobó:				
Escala:	1:30			Alumna:
Folio N°:	6			Magali Vilariño
	Área de compostaje			Carrera:
				Ingeniería Ambiental