

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA**

Proyecto Final

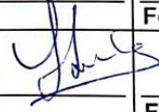
**Diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos
para la industria del PVC**

Autoras: López Ana Laura, Silva Fernández Valentina
Grado al que se aspira: Ingeniera Química
Director del Proyecto Final: De Ondarra Sergio Jorge, Mgter. Ing.
Co-directora: Lucero Laura. Ing.

San Rafael, Mendoza, 2025

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para la industria del PVC

Autoras: López Ana Laura, Silva Fernández Valentina
Grado al que se aspira: Ingeniera Química
Director del Proyecto Final: De Ondarra Sergio Jorge, Mgter. Ing.
Co-directora: Lucero Laura, Ing.

Presidente Nombre y Firma	Fecha
Suarez Olase 	24 / 7 / 2025
Vocal Nombre y Firma	Fecha
LUCERO, LAURA LUCERO 	24/07/2025
Vocal Nombre y Firma	Fecha
de Ondarra, Jorge 	24/07/2025
Director Nombre y Firma	Fecha

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA
San Rafael, Mendoza, 2025

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria y a la Universidad Nacional de Cuyo por brindarnos la formación, el espacio y las herramientas necesarias para desarrollarnos como profesionales.

Agradecemos especialmente a los docentes Jorge De Ondarra, Laura Lucero y Alejandro Gentile, quienes nos guiaron con compromiso y paciencia durante esta última etapa del proyecto final, y también al resto del cuerpo docente y personal de la institución, por su acompañamiento a lo largo de estos años.

A nuestros compañeros, familias y amigos, gracias por estar presentes, por cada palabra de aliento, por comprender nuestras ausencias y por sostenernos en los momentos difíciles.

Y finalmente, gracias al equipo que formamos, por el compañerismo, el esfuerzo compartido y el aprendizaje mutuo. Culminar esta etapa juntas ha sido una experiencia enriquecedora que sin duda vamos a recordar con mucho orgullo y cariño.

TABLA DE CONTENIDOS

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para la industria del PVC.....	2
AGRADECIMIENTOS	4
TABLA DE CONTENIDOS.....	5
LISTADO DE TABLAS.....	11
LISTA DE ILUSTRACIONES	15
RESUMEN.....	16
CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES	17
1.1 JUSTIFICACIÓN	18
1.2 ENFOQUE Y ALCANCE DEL PROYECTO	18
1.3 MARCO TEÓRICO.....	18
1.3.1 ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	19
1.3.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL PVC.....	19
1.3.3 EFLUENTES DEL PROCESO.....	21
1.3.4 TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL PROCESO.....	22
1.3.4.1. DEFINICIÓN.....	22
1.3.4.2. ESTRUCTURAS GENERALES	22
1.3.4.3. APLICACIONES GENERALES.....	23
1.4 CONCLUSIÓN	23
CAPÍTULO II - ESTUDIO DE MERCADO.....	24
2.1.INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE MERCADO	25
2.2.MERCADO CONSUMIDOR	25
2.2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA	25
2.2.2. ANÁLISIS GLOBAL Y PARCIAL.....	26
2.3.MERCADO PROVEEDOR	29
2.3.1. PROVEEDORES DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS	29
2.3.1.1 SERTEC ARGENTINA	30
2.3.1.2 SISTEMA BIOTAC	30
2.3.1.3 WET ARGENTINA S.A.	31
2.3.2 PROVEEDOR DE REACTIVOS	32
2.4.MERCADO COMPETIDOR	32
CAPÍTULO III - SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	34
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE	35
3.2 NECESIDAD DE NUTRIENTES	35
3.3 RELEVAMIENTO DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES	36
3.3.1 TRATAMIENTOS FÍSICOS	36
3.3.1.1 DESBASTE	36
3.3.1.2 HOMOGENEIZACION	36
3.3.1.3 STRIPPEO	37
3.3.1.4 SEDIMENTACION.....	37
3.3.1.5 PRENSADO	37
3.3.2 TRATAMIENTOS QUÍMICOS	38
3.3.2.1 PILETA DE SULFATOS.....	38

3.3.2.2 NEUTRALIZACIÓN	38
3.4.3 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	39
CAPÍTULO IV - TAMAÑO.....	40
4.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO	41
4.2 FACTORES QUE DETERMINAN EL TAMAÑO DEL PROYECTO.....	41
4.2 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.....	42
4.4 PROGRAMA DE OPERACIÓN	44
4.4.1. PROCESO OPERATIVO.....	44
4.4.2. ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL.....	44
4.5 RÉGIMEN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA DE TURNOS.....	45
CAPÍTULO V - LOCALIZACION.....	46
5.1 DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN.....	47
5.2 FACTORES DETERMINANTES.....	47
5.2.1 FACTORES PRIMARIOS- SELECCIÓN DE LA MACROLOCALIZACION	47
5.2.2 FACTORES SECUNDARIOS - SELECCIÓN DE LA MICRO LOCALIZACIÓN.....	48
5.3 MÉTODO DE SELECCIÓN - MÉTODO DE PONDERACIONES	48
CAPÍTULO VI - INGENIERÍA DE PROCESO	51
6.1 INGENIERÍA DE PROCESO	52
6.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA	52
6.3 BALANCE DE MATERIA.....	52
6.3.1 VOLUMEN ESTIMADO A TRATAR.....	53
6.3.1.1 CONDICIONES INICIALES DEL EFLUENTE	55
6.3.2 PRETRATAMIENTO.....	55
6.3.3 ETAPA DE TRATAMIENTO PRIMARIO	56
6.3.3.1 STRIPPING	56
6.3.3.2 REQUERIMIENTO DE SULFATO DE ALUMINIO- PILETA DE SULFATOS.....	57
6.3.3.3 REQUERIMIENTO DE HIDROXIDO DE SODIO- NEUTRALIZADOR.....	60
6.3.3.4 REQUERIMIENTO DE FLOCULANTE- NEUTRALIZADOR.....	61
6.3.3.5 REQUERIMIENTO DE HIPOCLORITO DE SODIO	62
6.3.4 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	62
6.3.4.1 REACTOR DE LODOS CONVENCIONAL.....	63
6.3.4.2 GESTION Y DISPOSICION DE LODOS.....	64
6.3.5 CONDICIONES FINALES Y FLUJOS DE DESCARGA DEL EFLUENTE	64
6.4 BALANCE DE ENERGÍA.....	66
6.4.1. REQUERIMIENTOS TÉRMICOS	66
CAPÍTULO VII – INGENIERÍA DE DETALLE	67
7.1 INGENIERÍA DE DETALLE	68
7.2 ANÁLISIS DE DETALLE	68
7.3 PRETRATAMIENTO - DISEÑO DE EQUIPOS.....	68
7.3.1. TAMIZ ESTÁTICO.....	68
7.3.2. PULMÓN DE ALMACENAMIENTO	69
7.4 TRATAMIENTO PRIMARIO - DISEÑO DE EQUIPOS	72
7.4.1 COLUMNA DE STRIPPING.....	72
7.4.2 PILETA DE SULFATOS - PILETA DE COAGULACIÓN.....	75
7.4.3 NEUTRALIZADOR	79
7.4.3.1 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NaOH	83
7.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO - DISEÑO DE EQUIPOS	84
7.5.1 REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO	84
7.5.2 SEDIMENTADOR.....	86
7.5.3 TORNILLO DESHIDRATADOR	88

7.5.5	PILETA DE DISPOSICIÓN FINAL	90
7.6	EQUIPOS AUXILIARES	92
7.6.1.1	BOMBAS DE TORNILLO.....	92
7.6.1.2	BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	92
7.6.1.3	BOMBAS DOSIFICADORAS DE DIAFRAGMA	93
CAPÍTULO VIII - INGENIERÍA DE GESTIÓN.....		94
8.1.	INGENIERÍA DE GESTIÓN.....	95
8.2.	PRINCIPIOS DE LA ORGANIZACIÓN	95
8.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN.....	96
8.3.1.	CONSTRUCCIÓN LEGAL DE LA EMPRESA.....	96
8.3.2.	RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA.....	97
8.3.3.	DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA EMPRESA.....	97
8.3.3.1.	TIEMPO PROMEDIO DE OPERACIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS ANUALES	98
8.3.3.2.	COSTOS E INGRESOS DE LOS PROYECTOS.....	98
8.4.	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	99
8.4.1.	ORGANIGRAMA	99
8.4.1.1.	DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN GENERAL	100
8.4.2.	FICHAS DE FUNCIÓN	101
8.4.3.	CATEGORIZACIÓN DEL PERSONAL.....	117
8.5.	PLANIFICACIÓN Y TURNOS DE TRABAJO.....	118
CAPÍTULO IX - DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA		120
9.1.	DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA	121
9.2.	RECEPCIÓN Y CONTROL DE INSUMOS	121
9.3.	PROCESO Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES.....	121
9.4.	DEPÓSITO TÉCNICO DE EQUIPOS Y MATERIALES.....	121
9.5.	CARGA Y EXPEDICIÓN DE SUBPRODUCTOS.....	121
9.6.	LABORATORIO DE CONTROL Y MONITOREO DE CALIDAD.....	121
9.7.	TALLER DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES TÉCNICAS.....	121
9.8.	GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y TÉCNICA	121
9.9.	SALA DE BIENESTAR Y DESCANSO PERSONAL	122
9.10.	NÚCLEO DE SERVICIOS HIGIÉNICOS Y VESTUARIOS.....	122
9.11.	PLAYA DE ESTACIONAMIENTO VEHICULAR.....	122
CAPÍTULO X - ASPECTOS JURÍDICOS.....		123
10.1	ASPECTOS JURÍDICOS.....	124
10.2	MARCO LEGAL	124
10.3	LEGISLACIÓN NACIONAL.....	124
10.3.1	CONSTITUCIÓN NACIONAL	125
10.3.2	LEY 25.675 - LEY GENERAL DE AMBIENTE	125
10.3.3.	LEY 24.051 - LEY DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	125
10.3.4	LEY 25.612 - GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y DE ACTIVIDADES Y SERVICIOS.....	125
10.3.5	LEY 19.857 - HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.....	125
10.3.6	LEY 13.959 - GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS	125
10.3.7	LEY 25.688 - GESTIÓN AMBIENTAL DE AGUAS	126
10.4.	LEGISLACIÓN PROVINCIAL	126
10.4.2.	LEY 5.965 - PROTECCIÓN DEL AGUA Y LA ATMÓSFERA.....	126
10.5.	LEGISLACIÓN MUNICIPAL	126
10.5.1.	RESOLUCIÓN 336/03 - PARÁMETROS DE VERTIDO BAHÍA BLANCA.....	126
10.5.2.	ORDENANZA 6.209 - CÓDIGO DE PRESERVACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL ..	126
CAPITULO XI - ASPECTOS NORMATIVOS.....		127
11.	ASPECTOS NORMATIVOS	127

11.1	NORMAS A APLICAR	128
11.1.1	NORMAS ISO	128
11.1.1.1	NORMAS ISO 9000 – SISTEMAS DE GESTION DE CALIDAD	129
11.1.1.2	NORMAS ISO 14000 – SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL	129
11.1.1.3	NORMAS ISO 26000 – RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL	129
11.1.2	NORMAS IRAM	130
11.1.3	NORMAS OHSAS 18000 – SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	130
CAPÍTULO XII - ASPECTOS AMBIENTALES		131
12.1.	ASPECTOS AMBIENTALES	132
12.2	ESTRUCTURA DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	132
12.2.1	DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE BASE AMBIENTAL O BASE CERO	132
12.2.1.1	MEDIO FÍSICO	133
	CLIMA	133
	PRECIPITACIONES	133
	HUMEDAD RELATIVA	133
	SUELOS	133
	AIRE	134
	MEDIO BIÓTICO	134
	FLORA	134
	FAUNA	134
12.2.1.2	MEDIO ANTRÓPICO	134
12.2.2.	IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	135
12.2.3	ETAPAS DEL PROYECTO	135
12.2.3.1	CONSTRUCCIÓN	135
	A2- MONTAJE DE OBRADORAS, TRANSPORTE DE MATERIALES Y EQUIPOS	135
	A3- LIMPIEZA DE LA ZONA, EXCAVACIONES Y OTROS MOVIMIENTOS DE TIERRA	135
	A4- OBRAS CIVILES	136
	A5- INSTALACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS	136
	A6- GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	136
12.2.3.2	OPERACIÓN	136
	A8- OPERACIÓN DE LA PLANTA	136
	A9- MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES	136
	A10- GESTIÓN DE LODOS	136
12.2.3.3	ABANDONO	137
	A11- GESTIÓN DE RESIDUOS FINALES	137
	A12- DESMONTAJE DE EQUIPOS E INFRAESTRUCTURA	137
	A13- REMEDIACIÓN DEL SITIO, GESTIÓN DOCUMENTAL Y CIERRE LEGAL	137
12.2.4	PARÁMETROS EVALUADOS	137
	MEDIO FÍSICO	137
	MEDIO BIÓTICO	138
	MEDIO SOCIOECONÓMICO	138
12.2.5	MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL - MÉTODO DE CONESA MODIFICADO	138
12.2.5.1	CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA (I) DE UN IMPACTO AMBIENTAL	138
12.2.5.2	TIPOLOGÍA DE IMPACTOS	139
12.3	PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL	144
12.3.1	MEDIO FÍSICO	144
	Aire	144
	Agua	144
12.3.2	MEDIO BIÓTICO	145
12.3.3	MEDIO SOCIOECONÓMICO	145
	Economía y Desarrollo urbano	145
CAPÍTULO XIII - HIGIENE Y SEGURIDAD		146

13.1	HIGIENE Y SEGURIDAD	147
13.1.1	LEY 19.587 DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO - DECRETO REGLAMENTARIO 351/79	147
13.1.2	DECRETO REGLAMENTARIO 351/79 - CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	147
13.1.3	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	149
13.1.4	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL	149
13.2	MANIPULACIÓN DE EQUIPOS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN - INFORMACIÓN DE SEGURIDAD.....	150
13.3	EQUIPOS EXTINTORES, SEÑALIZACIÓN Y SISTEMAS DE ALARMAS	150
13.4	MANEJO DE REACTIVOS	151
13.4.1	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	151
13.4.2	MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO	152
13.4.3	PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES	153
13.5	CONCLUSIÓN	153
CAPÍTULO XIV - EVALUACIÓN ECONÓMICA		154
14.1	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	155
14.2	TASA DE DESCUENTO	155
14.3	ESTRUCTURA DE COSTOS	156
14.3.1	INVERSIÓN INICIAL	156
14.3.1.1.2	SERVICIOS ESENCIALES	157
14.3.1.2	ACTIVOS DE CAPITAL.....	158
14.3.1.2.1	TERRENO	158
14.3.1.2.2	EDIFICIOS E INSTALACIONES.....	159
14.3.1.2.3	EQUIPOS, ACCESORIOS Y ADECUACIONES.....	159
14.3.1.2.4	MUEBLES, TECNOLOGÍA Y RODADOS.....	162
14.3.1.3	COSTO DEL SERVICIO.....	162
14.3.1.4	INVERSION INICIAL TOTAL	163
14.3.2	CRONOGRAMA DE INVERSIONES	163
14.3.3	COSTOS FIJOS	164
14.3.3.1.1	VALOR RESIDUAL	165
14.3.3.2	COSTOS FIJOS DE MANO DE OBRA	165
14.3.3.3	COSTOS FIJOS DE SERVICIOS	165
14.3.3.4	RESUMEN DE COSTOS FIJOS.....	166
14.3.4	COSTOS VARIABLES.....	166
14.3.4.1	COSTOS VARIABLES DE REACTIVOS.....	166
14.3.4.2	COSTOS VARIABLES DE ENERGIA	167
14.3.4.3	COSTOS VARIABLES DE MANTENIMIENTO.....	168
14.3.4.4	RESUMEN DE COSTOS VARIABLES	169
14.3.5	COSTOS TOTALES	169
14.4	FLUJO DE CAJA.....	170
14.4.1	FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO EN SÍ - ALTERNATIVA A.....	171
14.4.2	FLUJO DE CAJA POR CONTRATACIÓN DEL SERVICIO A “WET ARGENTINA S.A.” 171	
14.4.2.1	COSTO DE LA CONTRATACION DEL SERVICIO	172
14.4.2.1.1	REFERENCIAS PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO	172
14.5	ALTERNATIVA RECOMENDADA	173
14.5.1	CRITERIO ECONÓMICO	173
14.5.2	CRITERIO DE RIESGO TECNOLÓGICO Y OPERATIVO	174
14.5.3	CRITERIO DE FLEXIBILIDAD ANTE INCERTIDUMBRE.....	174
14.6	CONCLUSIÓN FINAL.....	174
CAPÍTULO XV - ANÁLISIS DE RIESGOS.....		175
15.1	ANÁLISIS DE RIESGOS	176
15.2	RIESGOS IDENTIFICADOS.....	176

15.2.1	RIESGOS OPERATIVOS Y TÉCNICOS	176
15.2.1.1	INEFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO.....	176
15.2.1.2	FALLA DE EQUIPOS CRÍTICOS.....	176
15.2.1.3	VARIABILIDAD DEL EFLUENTE	177
15.2.2.	RIESGOS ECONÓMICOS.....	177
15.2.2.1	AUMENTO DE COSTOS EN INSUMOS DE SERVICIOS.....	177
15.2.3	SINIESTROS E IMPREVISTOS.....	177
15.2.3.1	ACCIDENTES LABORALES	177
15.2.3.2	INCENDIOS EN GENERAL.....	177
15.3	CONCLUSIÓN	178
CAPÍTULO XVI - ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....		179
16.1	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	180
16.1.1	SENSIBILIZACIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS.....	180
16.1.2	FACTORES ATRIBUIBLES AL INCREMENTO.....	181
16.2	CONCLUSIÓN	181
BIBLIOGRAFÍA		183
TÉCNICA Y TEÓRICA		183
COMERCIAL.....		184

LISTADO DE TABLAS

- TABLA 1.3.2 Consumo de materias primas e insumos en la producción de PVC/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 2.2.2 Tasa de crecimiento anual compuesta/ Fuente: Data Bridge Market Research
- TABLA 2.2.2 Tendencias de la industria y pronóstico/ Fuente: Data Bridge Market Research
- TABLA 2.2.2 Líderes en el mercado de PVC / Fuente: Mordor Intelligence
- TABLA 3.1 Caracterización del efluente/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 3.2 Cantidad de nutrientes/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 4.3 Desglose del programa de operación/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 4.4.2 Dotación de personal y funciones operativas/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 4.3 Cronograma de turnos y asignación de personal/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 5.3 Tabla de valores para Bahía Blanca / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 5.3 Tabla de valores para La Plata / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.1 Volumen total de efluente a tratar / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.1.1 Caracterización del efluente - Condiciones iniciales/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.2.1 Balance de masa para el desbaste / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.1 Cálculo del vapor requerido para la torre de Stripping / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.1 Balance de masa para el VCM / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.2 Test de jarras, alternativa 2 / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.2 Resultado de la alternativa 2 del test de jarras / Fuente: Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales - Carlos Melo, Bogotá
- TABLA 6.3.3.2 Balance para el sulfato de aluminio / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.3 Balance de masa para el hidróxido de sodio / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.4 Balance de masa para el polímeros Lipesa 1569 - A / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.3.5 Balance de masa para el hipoclorito de sodio/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.4.1 Balance de masa para los residuos biológicos/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.5 Eficiencias típicas de remoción / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.5 Distribución de cargas / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.3.5 Valores finales del efluente / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 6.4.1 Parámetros de la demanda térmica / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.2 Equipos utilizados / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.3.1 Parámetros de diseño para el tamiz estático / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.3.1 Modelos de tamices estáticos/ Fuente: Aquanergy Soluciones Técnicas
- TABLA 7.3.1 Dimensiones de tamices estáticos / Fuente: Aquaenergy Soluciones Técnicas
- TABLA 7.3.2 Parámetros de diseño para el pulmón de almacenamiento/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.3.2 Dimensiones del pulmón de almacenamiento/ Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.3.3 Parámetros de diseño del intercambiador de calor / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.3.3 Dimensiones del intercambiador de calor / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.4.1 Propuesta de valores para el diseño de la torre de Stripping / Fuente: Elaboración propia
- TABLA 7.4.1 Dimensiones de la torre de Stripping / Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.4.2	Parámetros iniciales para el diseño de la pileta de sulfato/ Fuente: Elaboración propia.....
TABLA 7.4.2	Valores típicos de G / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.2	Tipos de agitadores / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.2	Costos totales para la pileta de sulfato / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.2	Dimensiones de la pileta de sulfato/ Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.4.3	Estimación del tiempo de residencia para el neutralizador / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.3	Parámetros para el diseño del neutralizador/ Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.4.3	Relevamiento bibliográfico para determinar el valor medio de G / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.3	Tipos de agitadores / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.3.1	Condiciones iniciales para el diseño del tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio/ Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.4.3.1	Dimensiones del neutralizador / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.4.3.1	Estimación de costos para el neutralizador/ Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.5.1	Parámetros del diseño del reactor Biológico/ Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.1	Dimensiones del reactor biológico / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.2	Parámetros de diseño del sedimentador / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.2	Dimensiones del sedimentador / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.3	Parámetros del tornillo deshidratador / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.3	Parámetros de entrada y salida de los lodos/ Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.5.4	Parámetros de diseño de la parcela de lodos / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.4	Dimensiones de la parcela de lodo / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.5.5	Parámetros de diseño para la pileta de disposición final / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.5.5	Dimensiones de la pileta de disposición final / Fuente: Elaboración propia
TABLA 7.6	Tabla de equipos auxiliares/ Fuente: Elaboración Propia
TABLA 7.7	Diagrama de Planta de Tratamiento de Efluentes Aurelia S.A /Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.3.1	Ley general de sociedades N 19550 / Fuente: Elaboración Propia
TABLA 8.3.3	Clasificador de actividades económicas / Fuente: Banco de la Nación Argentina
TABLA 8.4.2	Ficha de función del gerente general / Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.4.2	Ficha de función del director de administración general / Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.4.2	Ficha de función del jefe de gestión de ingresos / Fuente: Elaboración propia ..
TABLA 8.4.2	Ficha de función del jefe de finanzas y registros contables / Fuente: Elaboración propia.....
TABLA 8.4.2	Ficha de función del jefe de abastecimiento estratégico / Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.4.2	Ficha de función del director de operaciones técnicas / Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.4.2	Ficha de función del jefe de logística y control de insumos / Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.4.2	Ficha de función del jefe de planificación y ejecución de proyectos / Fuente: Elaboración propia
TABLA 8.4.2	Ficha de función del jefe de transformación industrial / Fuente: Elaboración propia

TABLA 8.4.2 Ficha de función del jefe de mantenimiento integral / Fuente: Elaboración propia	
TABLA 8.4.2: Ficha de función del Director de Desarrollo comercial /Fuente: Elaboración propia.	
TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Relaciones comerciales /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Comunicación y posicionamiento /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 8.4.2: Ficha de función del Director de Aseguramiento de la Calidad /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Control y mejora continua /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Monitoreo y tratamiento de efluentes /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 8.5 Planificación y turnos de trabajo, Aurelia S.A / Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 9.11 Tabla de distribución de la planta / Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 10.2 Principales normativas para el tratamiento de efluentes industriales / Fuente: .Elaboración Propia	
TABLA 10.5.1 Parámetros de descarga según resolución 336/03 / Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 12.2.5.2 Valoración de impactos ambientales / Fuente: Guía Metodológica para la evaluación de impactos ambientales, Conesa Fernández - Vitora "1997"	
TABLA 12.5.2.2 Valoración de impactos ambientales/ Fuente: Guía Metodológica para la evaluación de impactos ambientales, Conesa Fernández - Vitora "1997"	
TABLA 12.5.2.2 Matriz de identificación de impactos ambientales/ Fuente: Elaboración propia	
TABLA 12.5.2.2 Matriz de valoración de impactos ambientales/ Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 13.1.2 Intensidad de iluminación requerida para el trabajo en la industria/ Fuente: Norma IRAM AADL J 20-06	
TABLA 14.3.1.1.2 Activos totales del proyecto / Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.1.1.2 Costos diferidos del proyecto / Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.1.2.2 Costos de edificios e instalaciones/ Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.1.2.3 Factores de estimación basados en el costo del equipo entregado / Fuente: Metodología de Análisis Económicos orientada a proyectos de ingeniería Peter & Timmerhaus	
TABLA 14.3.1.2.3: Equipos, Accesorios y su Instalación / Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.1.2.4: Costos de Rodados /Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 14.3.1.2.4: Costos de Muebles, Tecnología, Otros /Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 14.3.1.2.4: Activos de Capital /Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 14.3.1.3: Costos del Servicio /Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 14.3.1.4: Inversión Inicial Total /Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 14.3.1.4: Clasificación de Costos /Fuente: Elaboración Propia	
TABLA 14.3.2: Cronograma de Inversiones /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.3.1: Depreciaciones /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.3.1: Amortizaciones /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.3.3: Costos Fijos de Servicios /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.3.4: Resumen de Costos Fijos /Fuente: Elaboración propia	
TABLA 14.3.4.1: Costos Variables de Reactivos /Fuente: Elaboración propia	

TABLA 14.3.4.2: Costos Variables de Energía /Fuente: Elaboración propia

TABLA 14.3.4.3: Costos Variables de Mantenimiento /Fuente: Elaboración propia

TABLA 14.3.4.4: Resumen de Costos Variables/ Fuente: Elaboración propia

TABLA 14.4.1: Indicadores Económicos /Fuente: Elaboración propia

TABLA 14.4.1: Flujo de Caja del Proyecto en Sí - Alternativa A
/Fuente: Elaboración propia

TABLA 14.4.2.1.1: Indicadores Económicos- Alternativa B
/Fuente: Elaboración propia

TABLA 14.4.2.2.1: Flujo de caja del Alquiler de una Planta- Alternativa B /Fuente:
Elaboración propia

TABLA 14.3.1.2.3 Equipos, accesorios y su instalación / Fuente : Elaboración propia

TABLA 15.2 Análisis de riesgos del proyecto / Fuente: Elaboración propia.....

TABLA 16.1.1 Sensibilización de los Costos operativos / Fuente: Elaboración propia.....

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1.3.2 Diagrama de bloques de la producción de PVC / Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 2.2.2 Tendencias del mercado de PVC / Fuente: Mordor Intelligence	
ILUSTRACIÓN 4.3 Gráfica del plan de operación/ Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 5.3 Polo petroquímico de Bahía Blanca / Fuente: Revista “ La Nueva “	
ILUSTRACIÓN 6.2 Diagrama de flujo de tratamiento de efluentes líquidos de la producción de PVC / Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 6.3.3.2 Test de jarras con hidróxido de sodio como neutralizante y sulfato de aluminio como coagulante / Fuente: Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales- Carlos Melo, Bogotá	
ILUSTRACIÓN 7.3.1 Planos del tamiz estático TÉS-12-600 / Fuente: Aquaenergy Soluciones Técnicas	
ILUSTRACIÓN 7.6.1.1 Bomba de tornillo único / Fuente: Fabricante	
ILUSTRACIÓN 7.6.1.2 Bomba centrífuga/ Fuente: Fabricante	
ILUSTRACIÓN 7.6.1.3 Bomba dosificadora / Fuente: Fabricante	
ILUSTRACIÓN 8.4.1 Organigrama Aurelia S.A / Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 9.11 Distribución de la planta / Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACION 14.3.3.4: Costos Fijos /Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 14.3.4.4: Costos Variables /Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 14.3.5: Costos Totales /Fuente: Elaboración propia	
ILUSTRACIÓN 16.1.1 Gráfico de sensibilización de los costos de tratamientos / Fuente: Elaboración propia	

RESUMEN

El presente trabajo aborda el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos generados en la producción de resina de PVC mediante el proceso de suspensión. Estos efluentes presentan características complejas, tales como carga orgánica, sólidos en suspensión y compuestos potencialmente nocivos, que requieren un tratamiento integral basado en la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos.

El diseño se realizó considerando criterios de eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y cumplimiento normativo, tomando como referencia la legislación vigente en la provincia de Buenos Aires, específicamente en la localidad de Bahía Blanca. Además, se incorporaron sistemas de contingencia y estrategias para la gestión durante paradas de planta.

A lo largo del proyecto se evaluaron dos alternativas tecnológicas: la construcción y operación de una planta propia y la contratación de un servicio externo de tratamiento. Ambas fueron analizadas desde una perspectiva técnico-económica, considerando costos de inversión, operación y mantenimiento, con el objetivo de determinar la opción más conveniente y alineada con los objetivos del proyecto.

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACIÓN

El estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de efluentes líquidos generados en la producción de Policloruro de Vinilo (PVC) constituye una respuesta necesaria ante una problemática ambiental significativa asociada a la industria petroquímica.

En este trabajo se analiza tanto la viabilidad técnica como económica de implementar un sistema de tratamiento adecuado que permita reducir la carga contaminante del efluente antes de su disposición final. A su vez, se busca establecer lineamientos que favorezcan la replicabilidad de esta solución en plantas con características similares, promoviendo una gestión más responsable de los residuos líquidos en el sector.

Dado que el PVC es un polímero ampliamente utilizado a nivel industrial, es fundamental que su proceso de fabricación esté acompañado por tecnologías que minimicen los impactos negativos sobre el ambiente. En este contexto, la propuesta no solo apunta a cumplir con los marcos normativos vigentes, sino también a incorporar una visión de sustentabilidad en el diseño de procesos industriales.

Este proyecto representa, por tanto, una oportunidad concreta para aplicar e integrar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Química, enfrentando un desafío real con implicancias técnicas - ambientales.

1.2 ENFOQUE Y ALCANCE DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como propósito desarrollar un estudio preliminar para la instalación de una planta destinada al tratamiento de efluentes líquidos originados en la fabricación de Policloruro de Vinilo (PVC). La elección de este proceso productivo responde a la necesidad de analizar en detalle un caso concreto que presenta desafíos ambientales relevantes y características específicas en cuanto a la composición de sus efluentes.

Se optó por acotar el análisis a una única actividad para lograr una mayor profundidad técnica en la identificación de contaminantes, el diseño del sistema de tratamiento y la evaluación de su desempeño ambiental y operativo.

De esta manera, el proyecto busca establecer una base sólida para futuras decisiones de inversión y diseño, priorizando la adecuación tecnológica, el cumplimiento normativo y la optimización del proceso, sin perder de vista la posibilidad de adaptar el esquema propuesto a contextos similares.

1.3 MARCO TEÓRICO

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un polímero termoplástico muy utilizado en la industria debido a su resistencia, durabilidad y bajo costo. Es el tercer plástico más producido a nivel mundial y se aplica en áreas como la construcción, la medicina, la electricidad y el embalaje.

Su desarrollo comenzó en el siglo XIX, aunque su uso industrial se consolidó en el siglo XX. Hoy en día, el PVC sigue siendo un material clave en numerosos procesos industriales, con una cadena productiva que requiere especial atención en términos de gestión ambiental.

En Argentina, el PVC tiene una presencia significativa en el sector petroquímico, con centros productivos en la provincia de Buenos Aires y en el polo industrial de Bahía Blanca. Dada su

relevancia económica e industrial, resulta fundamental acompañar su producción con tecnologías que aseguren un tratamiento adecuado de los efluentes y una operación sustentable.

1.3.1 ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS

La obtención de PVC es un proceso químico que comienza con la extracción de Cloruro de Sodio, esta materia prima es sometida a un proceso de electrólisis, que permite la separación del Sodio y el Cloro. A continuación, se realiza una reacción química entre el Cloro y el Etileno, un hidrocarburo gaseoso, para dar Cloruro de Vinilo (monómero).

Una vez obtenido el VCM, este se polimeriza para formar el PVC. La polimerización es una reacción química que transforma a las moléculas de Cloruro de Vinilo en largas cadenas de polímeros, creando así el material plástico que conocemos.

1.3.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL PVC

En la actualidad, hay varios métodos para la fabricación de PVC, por lo que se encuentran registrados varios números de licencias, que desarrollan los métodos de elaboración y condiciones técnicas de trabajo.

A continuación, se nombran las licencias más importantes, y se detalla la licencia escogida:

- MÉTODO "ATO CHEMIE".
- LICENCIA LONZA LTD.
- LICENCIA "RHONE- POULENC".
- MÉTODO HOECHST DE LA FIRMA UHDE.

La firma Hoechst tiene patentados los dos métodos para la producción de PVC, el de emulsión y el de suspensión.

- Método Hoechst en Emulsión:

En el proceso de producción de Policloruro de Vinilo (PVC) por emulsión, el monómero cloruro de vinilo (CVM) previamente emulsificado y activado se alimenta de manera continua a los reactores, los cuales son autoclaves revestidos con acero inoxidable y equipados con sistemas de agitación. Una vez finalizada la reacción, el polímero generado es sometido a un proceso de desgasificación intensiva, con el objetivo de eliminar el CVM residual y obtener el producto en forma de polvo. Posteriormente, para transformar el látex en polvo seco de PVC, se emplea un secador tipo *splitter*, donde el producto es atomizado y tratado con aire caliente.

Este método presenta como principal ventaja su carácter continuo, lo cual permite una mayor eficiencia en la producción y una reducción de los costos operativos en comparación con otros métodos de polimerización. Sin embargo, también posee ciertas desventajas relevantes, entre ellas se destacan el elevado consumo de compuestos químicos y vapor estimado en aproximadamente 3 toneladas para obtener PVC en pasta y 2,8 toneladas para PVC en emulsión, así como un considerable consumo de energía eléctrica, que puede superar en un 30 % al de otros procesos alternativos. A pesar de estos factores, cabe señalar que los menores costos de instalación asociados a este método compensan en parte sus exigencias energéticas y operativas.

- Método Hoechst en Suspensión:

El proceso Hoechst en suspensión requiere un VCM finamente dispersado en agua, con el agregado de protectores coloidales. En este estado de polimerización, tiene lugar el agregado de activadores, disueltos a temperaturas adecuadas.

La mezcla proveniente del autoclave de polimerización, consiste en una suspensión acuosa del polímero, con alto contenido de polímeros.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Se trata de un proceso discontinuo, formado por una sección de reacción, crítica en el proceso de fabricación de la resina, debido a la complejidad de sus variables, ya que no hay posibilidad de corregir sus características posteriormente.

El reactor es alimentado con agua desionizada, producida en la misma planta; el suministro de VCM es en forma líquida a partir de tanques de almacenamiento situados en la misma planta. Los demás suministros, como emulsificantes, iniciadores e inhibidores, son suministrados a partir de un edificio contiguo al reactor.

El reactor está provisto de un encamisado, que se utiliza para controlar la temperatura de polimerización debido a la exotermicidad de la reacción. El calor de reacción liberado durante la polimerización es, aproximadamente de $1,5 \cdot 10^6$ joule/kg.

Una vez obtenida la emulsión, se la bombea a la zona de desgasificación primaria, que consta de dos desgasificadores de tamaño similar al reactor, que pueden recepcionar toda la carga del mismo y abastecer de forma continua al resto del proceso, actuando de forma alternada. Estos trabajan a la misma presión que el reactor, pero a una temperatura superior, con el fin de eliminar una gran parte del monómero residual, el cual pasa por un enfriador de agua, para luego ser comprimido y bombeado al tanque de VCM recuperado.

La desgasificación secundaria, consta de una torre flash cuyo principio de funcionamiento es una caída brusca de presión, desde la presión de trabajo de 9 kg/cm² hasta la presión atmosférica. El objetivo de esta operación es eliminar el VCM residual que posteriormente será dirigido al sistema de recuperación.

Posteriormente, el producto es dirigido hacia la sección de centrifugación, ya que no debe contener más de un 20% de su peso en agua. En la misma, actúa una centrífuga convencional que produce una pasta con el contenido de humedad mencionado anteriormente.

Finalmente, la última sección corresponde a la de secado, en la que se utilizará un horno rotativo calentado con aire en contracorriente, para el secado final del polímero. La temperatura del aire no se debe elevar por encima de 120°C debido a que se produciría el quemado de la resina.

El PVC, polvo, es tamizado y transportado neumáticamente, y se acumula en un silo.

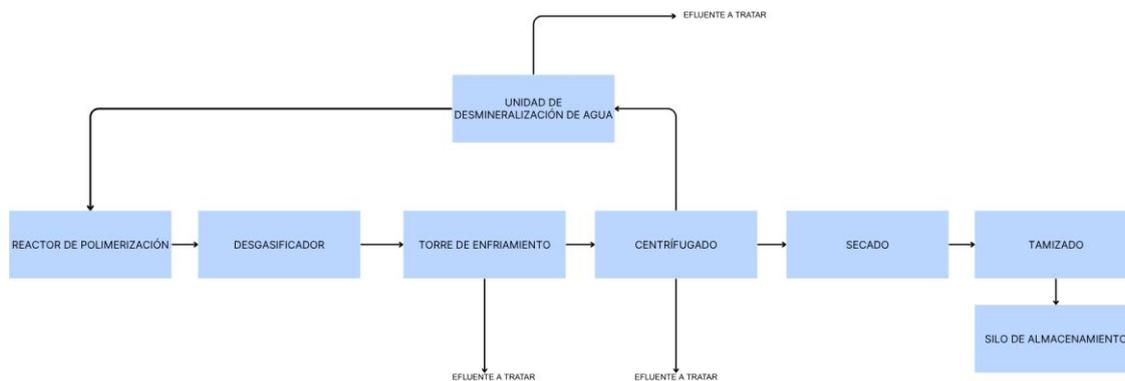


Ilustración 1.3.2: Diagrama de bloques de la producción de PVC /Fuente: Elaboración propia.

DATOS DEL CONSUMO DE INSUMOS Y ENERGÍA

Dentro de las licencias nombradas anteriormente, que actualmente están en uso, nos inclinaremos por el método desarrollado por UHDE, utilizado por HOECHST.

A continuación se detallan los consumos de materias primas e insumos para una tonelada de PVC en polvo, sin tener en cuenta las acumulaciones que se producen en silos y empaques, como también el CVM recuperado.

CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS E INSUMOS		
Materia Prima	Suspensión	Emulsión
CVM (monómero) kg	1010	1010
Agua Desionizada (m ³)	2,8	1,6
Químicos DM	30	80
Agua de Refrigeración (m ³)	70	65
Vapor (Kg)	1630	2800
Energía Eléctrica (Kwh)	290	250

Tabla 1.3.2: Consumo de materias primas e insumos en la producción de PVC /Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene valores promedio que están sujetos a variaciones, dependientes de la medida de la planta, y del tipo de producto a obtener.

1.3.3 EFLUENTES DEL PROCESO

El manejo adecuado de estos efluentes se vuelve un aspecto clave para reducir el impacto ambiental de la industria y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente. En este contexto, el presente proyecto se enfoca en la evaluación y diseño del tratamiento del efluente generado por una planta de producción de PVC por suspensión, cuya capacidad es de 20.000 toneladas anuales de resina. En dicha planta, el 65% del agua se utiliza directamente en el

proceso, el 30% se destina a las torres de enfriamiento y el 5% restante corresponde a la red interna contra incendios.

El efluente a tratar en la producción de PVC por suspensión, proviene de la combinación de distintas corrientes acuosas generadas a lo largo de las diversas etapas del proceso. La planta de tratamiento de aguas residuales contempla actualmente una línea de tratamiento basada en neutralización y desinfección, lo que permite adecuar el agua final para su vertido conforme a los parámetros normativos establecidos.

De manera general, pueden identificarse tres principales corrientes acuosas: la proveniente de las torres de refrigeración, la purga de las unidades de desmineralización (compuestas por resinas de intercambio iónico y sistemas de ósmosis inversa), y la corriente resultante de la centrifugación de la suspensión de PVC, también conocida como licor madre. Las dos primeras corrientes contienen, en su mayoría, sales disueltas y partículas en suspensión, siendo fácilmente tratables mediante tecnologías convencionales.

En el presente se desarrolla una propuesta de tratamiento de los efluentes líquidos definidos con el objetivo de cumplir con las normativas ambientales de la zona a implementar.

1.3.4 TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL PROCESO

1.3.4.1. DEFINICIÓN

El tratamiento de efluentes es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos aplicados para eliminar o reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales, provenientes de actividades domésticas, industriales o agrícolas. Su finalidad es transformar estos líquidos contaminados en aguas que puedan ser reutilizadas o devueltas al medio ambiente sin causar daño.

Una planta de tratamiento de efluentes es una instalación diseñada específicamente para llevar a cabo estos procesos de depuración. En ella, el agua residual pasa por diferentes etapas, como la sedimentación, filtración, aireación y desinfección, dependiendo del tipo y grado de contaminación. Estas plantas pueden ser municipales o industriales, y su diseño varía según el volumen y la carga contaminante de los efluentes a tratar.

El principal objetivo del tratamiento de efluentes es proteger la salud pública y preservar el medio ambiente. Al reducir la carga contaminante del agua residual, se previene la contaminación de ríos, lagos, suelos y acuíferos, evitando impactos negativos en los ecosistemas y permitiendo el reúso del agua tratada en riego, procesos industriales u otros fines sostenibles.

1.3.4.2. ESTRUCTURAS GENERALES

El tratamiento del efluente de una planta de PVC requiere un enfoque integral que aborde tanto los contaminantes orgánicos como inorgánicos. Es fundamental adaptar el diseño del sistema de tratamiento a las características específicas del efluente y cumplir con las normativas ambientales locales para garantizar una descarga segura al medio ambiente. Las etapas típicas incluyen:

1. Tratamiento Preliminar: remoción de sólidos grandes y aceites mediante rejillas y separadores de grasa.
2. Tratamiento Primario: sedimentación para eliminar sólidos suspendidos y parte de la carga orgánica.
3. Tratamiento Secundario: procesos biológicos para degradar la materia orgánica biodegradable.

4. Tratamiento Terciario: remoción de nutrientes específicos (como nitrógeno y fósforo) y compuestos residuales.

1.3.4.3. APLICACIONES GENERALES

El tratamiento de efluentes se implementa en diversos sectores con el fin de disminuir la carga contaminante del agua residual y facilitar su disposición o reutilización segura. Las aplicaciones más predominantes se encuentran en el ámbito industrial y agrícola. En la industria, el agua tratada se reutiliza principalmente en procesos productivos, limpieza de equipos o sistemas de enfriamiento. En el sector agrícola, se emplea para riego, contribuyendo a la conservación de recursos hídricos. También se aplica en entornos urbanos para usos no potables, como el riego de espacios verdes o la limpieza de calles, y en algunos casos, como fuente para recarga de acuíferos.

Los efluentes industriales son corrientes líquidas residuales originadas por actividades manufactureras o de transformación. Su composición es altamente variable y depende del tipo de proceso, pero puede incluir compuestos orgánicos recalcitrantes, metales pesados, nutrientes, sólidos suspendidos y sustancias tóxicas. Estas características demandan tecnologías de tratamiento avanzadas, como la oxidación química, membranas, tratamientos biológicos específicos o métodos de separación física. La gestión adecuada de estos efluentes es fundamental para evitar impactos negativos sobre cuerpos receptores, suelos y salud humana, así como para cumplir con la normativa ambiental vigente.

1.4 CONCLUSIÓN

A lo largo de este proyecto se buscó dar respuesta a una problemática ambiental concreta, proponiendo una solución técnicamente viable y económicamente sustentable para el tratamiento de efluentes industriales. Más allá de los cálculos, planos y análisis, lo que se pone en valor es la capacidad de aplicar la ingeniería con criterio, compromiso y responsabilidad ambiental.

Diseñar esta planta implicó tomar decisiones que no siempre fueron simples, priorizando no solo la eficiencia operativa, sino también el respeto por el entorno y la salud pública. En este sentido, se reafirma la importancia de entender al tratamiento de efluentes no como una obligación normativa, sino como una oportunidad de mejorar los procesos industriales y reducir su impacto a largo plazo.

Este trabajo representa una síntesis del recorrido académico, pero sobre todo un punto de partida para futuros desafíos profesionales, donde el criterio técnico se combine con una mirada consciente y sostenible del ejercicio de la ingeniería.

CAPÍTULO II - ESTUDIO DE MERCADO

2.1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado es una herramienta fundamental para evaluar la viabilidad y pertinencia de un proyecto industrial. Permite comprender el contexto económico en el que se desarrollará la planta, identificar oportunidades y amenazas, y tomar decisiones estratégicas basadas en información concreta.

En este trabajo, se analizará la evolución histórica del mercado de la producción de PVC, con énfasis en el tratamiento de efluentes industriales. También se abordará la situación actual del país, evaluando el entorno económico, político y regulatorio.

A continuación, se estudiarán los posibles proveedores de soluciones tecnológicas y reactivos necesarios para la operación de la planta, así como las empresas que prestan servicios de tratamiento de efluentes en la actualidad.

En síntesis, se analizará cómo el incremento en la producción de PVC, impulsado por políticas ambientales más exigentes, generará una mayor demanda de servicios especializados en el tratamiento de efluentes, y cómo interactúan entre sí los distintos mercados que componen este segmento industrial. De esta forma, se podrá estimar el potencial del mercado y validar la oportunidad de implementar una planta que no solo atienda necesidades crecientes, sino que también se alinee con la evolución del sector y con marcos regulatorios cada vez más rigurosos.

2.2. MERCADO CONSUMIDOR

Cuando hablamos de mercado consumidor nos referimos a las plantas industriales dedicadas a la producción de PVC en Argentina. Estas instalaciones generan efluentes líquidos durante diferentes etapas del proceso productivo que deben ser tratados para cumplir con las normativas ambientales vigentes. Es en este contexto donde se presenta nuestra oportunidad comercial: ofrecer una solución integral y eficiente para el tratamiento de dichos efluentes, que se adapte a las particularidades del sector y responda a la creciente demanda de servicios ambientales por parte de la industria química.

2.2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El PVC (cloruro de polivinilo) es uno de los materiales sintéticos más antiguos y representa un hito en la historia de la ciencia de los polímeros. Su desarrollo se remonta a la primera mitad del siglo XIX, cuando comenzaron los primeros avances en la producción de plásticos en los laboratorios de Justus von Liebig, en Gießen.

En 1835, Henry Victor Regnault descubrió que al mezclar dicloruro de etileno con una solución alcohólica de hidróxido de potasio y exponerla a la luz solar, se formaba un polvo blanco. Este compuesto sería identificado más tarde como cloruro de polivinilo. Décadas después, en 1872, Baumann observó que el cloruro de vinilo líquido se transformaba en un polvo sólido al ser expuesto a la luz solar, marcando así uno de los primeros pasos hacia la obtención de materiales plásticos.

A pesar de estos descubrimientos tempranos, fue recién en 1912 cuando se logró un avance significativo en la producción de PVC. Fritz Klatte desarrolló un método de síntesis del cloruro de vinilo mediante la adición de cloruro de hidrógeno al acetileno, lo que permitió establecer las bases para su fabricación industrial.

A comienzos de la década de 1930, se pusieron en marcha en Alemania y Estados Unidos las primeras líneas piloto para la producción de PVC. Fue entonces cuando W.L. Semon logró

obtener el primer PVC plastificado al combinarlo con fosfato de tritolilo, un compuesto de alto punto de ebullición.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la demanda de materiales aislantes para cables y otros usos militares impulsó notablemente la producción de PVC. Además, el desarrollo de materiales flexibles recubiertos con este polímero, como los utilizados en la industria automotriz favoreció su expansión comercial. En 1941, por ejemplo, la empresa ICI Co. fue pionera en aplicar PVC recubierto en los autobuses de Londres. Para 1948, ya estaban disponibles comercialmente todas las formas estándar del polímero: PVC en suspensión, emulsión y pasta.

2.2.2. ANÁLISIS GLOBAL Y PARCIAL

ANÁLISIS GLOBAL

La producción mundial de cloruro de polivinilo (PVC) ha mostrado una tendencia de crecimiento sostenido entre 2019 y 2025, impulsada por la expansión de sectores clave como la construcción, la infraestructura, la automoción y la electrónica. En 2018, la producción global de PVC alcanzó aproximadamente 44,3 millones de toneladas métricas, y se estima que aumentará a casi 60 millones de toneladas métricas para 2025.



TABLA 2.2.2: Tasa de crecimiento anual compuesta / Fuente: Data Bridge Market Research.

En términos de valor de mercado, el PVC fue valorado en USD 86.455 millones en 2024 y se proyecta que alcance USD 90.354 millones en 2025, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 5,20% hasta 2033. Asia-Pacífico domina el mercado global, representando más del 65% del consumo total de PVC, con China sola acaparando casi el 45% de la demanda mundial. La construcción sigue siendo el principal sector consumidor, utilizando más del 55% de la producción de PVC para aplicaciones como tuberías, ventanas y accesorios.



TABLA 2.2.2: Tendencias de la Industria y pronóstico /Fuente: Data Bridge Market Research.

Este crecimiento sostenido en la producción y demanda de PVC subraya la necesidad de soluciones eficientes para el tratamiento de efluentes industriales asociados a su fabricación, alineándose con las crecientes exigencias ambientales y regulatorias a nivel global.

- 1 Corporación química de Westlake
- 2 Ineos
- 3 Shin-etsu Chemicals Limited
- 4 Formosa Plastics Corporation
- 5 Co. Ltd de la sustancia química de Xinjiang Zhongtai

TABLA 2.2.2: Líderes en el mercado del PVC / Fuente: Mordor Intelligence.

ASIA- PACIFICO DOMINARÁ EL MERCADO

La región de Asia-Pacífico se posiciona como líder indiscutida en el mercado global de cloruro de polivinilo (PVC), impulsada principalmente por la fuerte demanda de países como China, India y Japón. Esta región no solo concentra una amplia base industrial, sino que también presenta un crecimiento sostenido en sectores clave como la electrónica, la salud y la construcción, todos grandes consumidores de PVC.

China destaca por su extensa capacidad de producción de productos electrónicos, que abarca desde smartphones hasta televisores OLED y tablets, sectores que han mostrado un crecimiento significativo en los últimos años. Además, el mercado de dispositivos médicos del país también ha experimentado una expansión acelerada, en parte debido al crecimiento de

los hospitales públicos y al aumento del gasto en salud, que en 2021 alcanzó los USD 1,10 billones (6,7 % del PBI), con un gasto per cápita de USD 780.

Por su parte, India ha impulsado activamente su industria electrónica mediante políticas públicas que promueven la producción y exportación de dispositivos electrónicos, lo que también estimula la demanda de PVC como insumo industrial. En paralelo, el sistema de salud indio sigue expandiéndose, con un gasto público creciente y proyecciones de inversión sostenida.

Estos factores, combinados con una infraestructura productiva en constante expansión y políticas de desarrollo industrial, consolidan a Asia-Pacífico como la región con mayor proyección en la demanda y producción de PVC a nivel mundial. Este liderazgo se espera que continúe fortaleciéndose durante los próximos años, marcando una tendencia clave en la dinámica global del sector.

Polyvinyl Chloride Market - CAGR by Region, 2022-2027



Ilustración 2.2.2 - Tendencias del mercado del PVC / Fuente: Mordor Intelligence.

ANÁLISIS PARCIAL EN ARGENTINA

En Argentina, la producción de resina de PVC está liderada por Unipar Indupa, una empresa con una sólida trayectoria en la industria química del país. Con plantas ubicadas en Bahía Blanca y San Lorenzo, Unipar Indupa se especializa en la producción de cloro, soda cáustica y resinas de PVC, abasteciendo tanto al mercado local como a otros países de la región. Su enfoque en la innovación y la sostenibilidad ha consolidado su posición como referente en la industria petroquímica argentina.

La presencia de Unipar Indupa en el país no solo garantiza el suministro de resina de PVC para diversas aplicaciones industriales, sino que también impulsa el desarrollo de soluciones tecnológicas y medioambientales asociadas a su producción. Esto representa una oportunidad estratégica para implementar plantas de tratamiento de efluentes que acompañen el crecimiento sostenible de la industria del PVC en Argentina.

2.3. MERCADO PROVEEDOR

2.3.1. PROVEEDORES DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS

En esta sección del estudio de mercado se busca identificar los principales proveedores de equipos y servicios necesarios para la implementación del proyecto, incluyendo tecnología, reactivos, nutrientes y otros insumos esenciales.

Se abordarán factores como los costos, la calidad de los productos ofrecidos y su disponibilidad en la región.

Asimismo, se realizará un análisis detallado de los riesgos asociados a la cadena de suministro, con el objetivo de identificar posibles vulnerabilidades y proponer estrategias que aseguren la sostenibilidad operativa y económica del proyecto.

En Argentina, el tratamiento de aguas residuales es un sector clave para el desarrollo sostenible, con diversas empresas especializadas que ofrecen soluciones innovadoras y eficientes. Algunas de las cuales son:

- **Veolia Argentina:** Multinacional con presencia en el país, especializada en gestión de agua, residuos y eficiencia energética.
- **WET Argentina S.A.:** Ofrece soluciones integrales en tratamiento de aguas y procesos industriales, enfocándose en sectores como minería, petróleo, energía, celulosa y papel, y alimentos y bebidas.
- **Synertech Argentina:** Fabricante de equipos y plantas de tratamiento de aguas residuales para diversas industrias, incluyendo la láctea, cárnica, textil y agropecuaria.
- **Sertec Argentina:** Especializada en sistemas compactos y modulares para el tratamiento de efluentes cloacales, basados en principios de barros activados y aireación extendida.
- **Sistema Biotac:** Desarrolla soluciones innovadoras para el tratamiento de aguas residuales, eliminando hasta un 98% de la carga orgánica sin generar lodos, con mantenimiento casi inexistente.
- **Química EG:** Brinda instalaciones de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, adaptándose a las necesidades específicas de cada cliente.
- **DAS Sudamérica:** Ofrece una amplia gama de tecnologías biológicas y químico-físicas para el tratamiento de aguas residuales, incluyendo servicios de consultoría y gestión de proyectos llave en mano.
- **Vatten Aguas y Servicios SRL:** Dedicada a prestar servicios en tratamientos de aguas industriales, con más de 30 años de experiencia en la industria.
- **LC Empresas:** Proporciona tecnología de punta para el tratamiento de aguas residuales y potabilización de agua para consumo, complementado con energías sustentables.
- **Metertech Soluciones Ambientales:** Introduce en el mercado argentino biocatalizadores avanzados para tratamientos biológicos de aguas residuales y eliminación de malos olores.

2.3.1.1 SERTEC ARGENTINA

Sertec está especializada en el diseño, fabricación e instalación de sistemas modulares y compactos para el tratamiento de efluentes cloacales y aguas residuales industriales, empleando tecnología de barros activados y aireación extendida. Su propuesta es completamente autónoma y lista para instalar.

Catálogo de productos y servicios:

- Plantas modulares de tratamiento biológico (barros activados) con aireación extendida.
- Sistemas para viviendas unifamiliares, barrios privados, instituciones educativas, hoteles, hospitales, y plantas industriales.
- Estaciones de bombeo.
- Plantas elevadoras de líquidos.
- Proyectos llave en mano.

Por qué se destaca:

- Sistema “plug & play”: sus equipos se entregan listos para funcionar, sin necesidad de obras civiles complejas.
- Bajo mantenimiento: no requieren extracción regular de lodos.
- Construcción robusta: fabricadas en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) de calidad naval, garantizando durabilidad y resistencia.
- Cumplimiento estricto de normativas ambientales argentinas.
- Adaptabilidad: pueden dimensionarse según las necesidades de caudal y espacio disponible.

Aplicación destacada: Ideal para proyectos de rápida ejecución que requieran eficiencia, mínima intervención en obra civil y cumplimiento ambiental inmediato.

2.3.1.2 SISTEMA BIOTAC

Sistema Biotac ha desarrollado una tecnología patentada a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales domésticas, caracterizada por ser ecológica, compacta y de muy bajo mantenimiento. Su enfoque principal es la eliminación casi total de materia orgánica sin producción de lodos.

Catálogo de productos y servicios:

- Biodigestores avanzados para tratamiento de aguas negras y grises.
- Unidades domésticas y comunitarias (barrios, clubes, escuelas rurales, hospitales).
- Sistema Biotac Compact: versión portátil ideal para viviendas y pequeñas instituciones.

- Modelos con salida reutilizable para riego y forestación.

Por qué se destaca:

- Elimina hasta el 98% de la carga orgánica sin necesidad de extracción de lodos.
- No requiere mantenimiento técnico regular.
- Diseño compacto y enterrado, lo que favorece la estética y el ahorro de espacio.
- Es una de las pocas soluciones que puede operar sin energía eléctrica continua.
- Cumple con las normas del Código Alimentario Argentino y el Ministerio de Ambiente.

Aplicación destacada: Ideal para entornos rurales, viviendas sin conexión a red cloacal y lugares donde se requiera un sistema confiable, autónomo y de bajo costo operativo.

2.3.1.3 WET ARGENTINA S.A.

WET Argentina brinda soluciones integrales en tratamiento de aguas y efluentes para sectores industriales complejos, como el petrolero, energético, minero, agroalimentario y papelerero. Su enfoque está basado en el diseño de procesos personalizados y la aplicación de tecnologías de última generación.

Catálogo de productos y servicios:

- Plantas de tratamiento físico-químico y biológico.
- Tratamiento de efluentes industriales especiales (alta carga orgánica, metales pesados, hidrocarburos).
- Sistemas de ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.
- Plantas compactas contenerizadas.
- Asesoramiento técnico, servicios postventa, operación y mantenimiento.
- Tratamiento de aguas de proceso, reciclaje y reutilización.

Por qué se destaca:

- Alta capacidad de adaptación a industrias exigentes, incluyendo petróleo, minería y agroindustria.
- Desarrollo de soluciones llave en mano, desde ingeniería básica hasta la operación.
- Uso de tecnología de punta y automatización en sus sistemas.
- Enfoque en la optimización de recursos y reutilización del agua.
- Certificaciones de calidad y cumplimiento con normativa internacional.

Aplicación destacada: Ideal para industrias de alta complejidad que requieran tratamiento personalizado, recuperación de agua y cumplimiento estricto de normativas ambientales locales e internacionales.

2.3.2 PROVEEDOR DE REACTIVOS

A nivel país existe una gran cantidad de empresas dedicadas a proveer de reactivos y nutrientes necesarios para la correcta operación de la planta de tratamiento de efluentes.

Se llega a esta conclusión luego de estudiar cuáles son los reactivos más empleados, entre ellos:

- Sulfato de Aluminio
- Hidróxido de Sodio
- Floculante
- Hipoclorito de Sodio

Como la distribución de estas sustancias se encuentra ampliamente distribuida se ha optado por buscar la mejor opción económicamente hablando.

2.4. MERCADO COMPETIDOR

El análisis del mercado competidor tiene como objetivo identificar y caracterizar a las empresas que actualmente ofrecen soluciones similares en el rubro del tratamiento de efluentes, especialmente aquellos generados por la industria química y petroquímica. Esta evaluación permite conocer el grado de especialización de cada empresa, su alcance territorial, las tecnologías que emplean y los segmentos a los que apuntan, lo cual es clave para posicionar estratégicamente nuestra propuesta.

En este contexto, se analizan competidores relevantes con presencia nacional, destacando sus fortalezas, limitaciones y nivel de competencia respecto a la planta proyectada. Entre los potenciales competidores analizados, se encuentran dos principales empresas:

1. WET Argentina S.A. – Competidor directo.

Tiene una fuerte presencia en el tratamiento de efluentes industriales complejos, como los de la industria química y petroquímica. Sus soluciones están dirigidas a sectores como el plástico, el papel, la minería y los hidrocarburos, todos con características similares en cuanto a carga contaminante y normativa ambiental.

Capacidad técnica: Cuenta con plantas físico-químicas, biológicas, containerizadas y sistemas de recuperación de agua, lo que la hace apta para tratar efluentes del PVC.

Cobertura: Trabaja en todo el país y podría competir en Bahía Blanca si surgiera una licitación o propuesta en el Polo Petroquímico.

2. Sertec Argentina – Competidor parcial o indirecto.

Aunque se especializa en aguas residuales urbanas o de baja carga industrial (ej. sanitarios, colegios, hoteles), sus sistemas biológicos podrían adaptarse a industrias si la carga orgánica lo permite.

Competencia en el segmento: No sería una amenaza directa en el tratamiento especializado de efluentes con sulfatos, cloruros o contaminantes del PVC, pero sí podría entrar como oferente en servicios de ampliación o pretratamiento en industrias menos complejas.

CAPÍTULO III - SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

En el presente capítulo se establecerá la tecnología de tratamiento a implementar para el diseño de la planta de tratamiento de efluentes. En este contexto, se identificó que la corriente líquida constituye la fracción de mayor volumen dentro de los residuos generados, por lo que el análisis y tratamiento se centrará exclusivamente en esta fase. Las corrientes gaseosas y sólidas, al presentar proporciones significativamente menores o estar adecuadamente gestionadas por otros sistemas, no serán objeto de estudio en esta instancia.

El efluente líquido presenta una composición compleja, resultado de las distintas etapas del proceso industrial de producción de PVC por suspensión. Entre los principales contaminantes presentes se encuentran: cloruro de vinilo monómero residual (VCM no polimerizado), sólidos en suspensión (partículas de resina no recuperadas), aceites y grasas (procedentes de lubricantes utilizados en los equipos), así como compuestos orgánicos volátiles (derivados de solventes y aditivos empleados durante la producción).

Con el fin de establecer una composición media representativa del efluente generado por este tipo de industria, se han recopilado y analizado datos obtenidos de diversas fuentes bibliográficas, las cuales se presentan a continuación.

Con la finalidad de caracterizar el efluente, se han promediado los valores informados por la bibliografía mencionada para cada uno de los parámetro obtenidos.

CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE			
	Unidades	Valor medio	Valor máximo permisible
T	°C	65	<45
pH	pH	5,75	6,5-10
CE	µS/cm	1091	
SS	mg/L	518,5	<1
DBO ₅	mg/L O ₂	150	50
DQO	mg/L O ₂	322	250

Tabla 3.1: Caracterización del efluente /Fuente: Elaboración propia.

3.2 NECESIDAD DE NUTRIENTES

En los procesos biológicos de tratamiento de efluentes, es fundamental la presencia de ciertos nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, ya que estos son esenciales para el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica presente en el efluente. En el caso de los efluentes generados por la industria del PVC, que suelen presentar una baja concentración de nutrientes debido a su composición predominantemente química, por lo que es necesario un aporte externo de estas sustancias para asegurar un adecuado desarrollo microbiano y garantizar la eficiencia del proceso de depuración.

Las cantidades de nutrientes presentes en el efluente, según la bibliografía se indican a continuación:

NUTRIENTES			
Parámetro	Unidad	Efluente	Máximo permitido - Resolución 336/03
Nitrógeno total (N _T)	mg/L	15,5	<35
Fósforo total (P _T)	mg/L	3	<1,0

Tabla 3.2: Cantidad de nutrientes / Fuente: Elaboración propia.

La relación óptima entre DBO, N y P es la siguiente: $DBO: N: P \rightarrow 100: 5: 1$

Según los parámetros obtenidos y considerando la relación estequiométrica recomendada, se observa que las proporciones presentes en el efluente se encuentran dentro del rango adecuado, por lo que no es necesario agregar nutrientes externos.

Esto evita costos adicionales y reduce el riesgo de eutrofización o desequilibrios en el proceso biológico. Por lo tanto, se concluye que el efluente posee una carga suficiente de nutrientes para permitir el crecimiento y mantenimiento de la biomasa microbiana sin necesidad de suplementación.

3.3 RELEVAMIENTO DE TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

3.3.1 TRATAMIENTOS FÍSICOS

3.3.1.1 DESBASTE

En el tratamiento de efluentes líquidos, uno de los pasos iniciales fundamentales es la remoción de sólidos de gran tamaño, ya que su presencia puede generar diversos inconvenientes en el funcionamiento de la planta. Estos materiales pueden obstruir conductos, canales y cañerías, dañar bombas, trabar mecanismos móviles o interferir con los sistemas de purga.

Por esta razón, la separación de estos sólidos se realiza al comienzo del proceso, mediante una operación conocida como desbaste. Se trata de una etapa de carácter físico, cuyo objetivo es interceptar y retener partículas sólidas de distintos tamaños, impidiendo que continúen su recorrido dentro del sistema de tratamiento.

El parámetro que define el tamaño máximo de los elementos que pueden pasar por el sistema se conoce como "luz", y determina la eficacia del proceso. Para llevar a cabo esta retención, se emplean comúnmente dispositivos como rejillas o tamices, que actúan como una barrera selectiva frente al flujo del efluente.

3.3.1.2 HOMOGENEIZACIÓN

Se incorpora un tanque de homogeneización cuya función principal es unificar los distintos flujos de efluentes líquidos generados en la planta, especialmente los provenientes de la centrífuga, la torre de enfriamiento y la unidad de desmineralización. Esta etapa permite mezclar estos caudales para lograr un efluente más uniforme en cuanto a su composición y caudal, lo que facilita el funcionamiento de las etapas de tratamiento siguientes. Al estabilizar las características del efluente que ingresa al sistema, se mejora la eficiencia del tratamiento y se pueden dimensionar de forma más precisa las unidades posteriores. El tipo de homogeneización utilizado corresponde a una unidad en línea, ya que todo el caudal es dirigido al tanque antes de continuar con el resto del proceso.

3.3.1.3 STRIPPEO

El stripping es un proceso físico que se utiliza para separar compuestos volátiles disueltos en un líquido, mediante el contacto con un gas, generalmente aire o vapor. Durante esta operación, el gas arrastra los compuestos volátiles hacia una fase gaseosa, facilitando su eliminación del efluente líquido. Este proceso se realiza comúnmente en columnas de contacto verticales, donde el líquido fluye de arriba hacia abajo y el gas de abajo hacia arriba, en contracorriente, lo que maximiza la transferencia de masa entre ambas fases. El stripping es especialmente útil cuando se requiere reducir la concentración de sustancias orgánicas volátiles en el agua antes de su descarga o tratamiento posterior.

Incorporaremos una columna de stripping específicamente diseñada para la eliminación de cloruro de vinilo monómero (VCM) residual presente en el efluente. Esta unidad permite volatilizar el VCM disuelto, facilitando su separación del agua mediante el arrastre con aire. El diseño de la columna permite un eficiente contacto entre el aire ascendente y el líquido descendente, asegurando una remoción efectiva del contaminante. La incorporación de esta etapa es fundamental para cumplir con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente, dado el carácter volátil y nocivo del VCM, y contribuye a mejorar significativamente la calidad del efluente tratado.

3.3.1.4 SEDIMENTACION

La sedimentación es una operación física clave en el tratamiento de efluentes líquidos, que tiene como objetivo separar las partículas sólidas suspendidas mediante la acción de la gravedad. Este proceso permite que los sólidos más pesados se depositen en el fondo del tanque, mientras que el líquido clarificado se extrae por la parte superior. La eficiencia de esta etapa depende de varios factores, como el tamaño y la densidad de las partículas, el tiempo de retención y la velocidad del flujo. La sedimentación no solo mejora la calidad del efluente tratado, sino que también protege las etapas posteriores del proceso, al reducir la carga de sólidos que deben ser manejados.

En este proyecto se optó por un sedimentador circular, debido a sus ventajas operativas y estructurales. Este tipo de unidad posee un diseño en planta circular con entrada central del efluente, lo que favorece un flujo radial hacia la periferia o hacia el centro (dependiendo del diseño específico), permitiendo una sedimentación uniforme y eficiente. El fondo del tanque suele tener una ligera pendiente que facilita el deslizamiento del lodo hacia un pozo central, donde es recolectado mediante un sistema de rastras giratorias. Además, el sedimentador circular requiere menos espacio para lograr una buena eficiencia hidráulica y ofrece una operación continua y estable, ideal para caudales como los previstos en esta planta. Su geometría también permite una buena distribución del flujo, minimizando zonas muertas y turbulencias.

3.3.1.5 PRENSADO

El prensado es una operación física utilizada para reducir el contenido de agua en los lodos generados durante el tratamiento de efluentes. Esta etapa permite disminuir significativamente el volumen de los residuos sólidos, facilitando su manipulación, transporte y disposición final. Al eliminar parte del agua contenida en los lodos, se mejora la eficiencia del sistema global y se reducen los costos asociados a la gestión de residuos. El prensado suele aplicarse luego de la sedimentación, una vez que el lodo ha sido espesado y concentrado.

Para este proyecto se seleccionó un filtro prensa como equipo de deshidratación de lodos, debido a su alta eficiencia y capacidad para obtener sólidos con bajo contenido de humedad. El filtro prensa funciona mediante la aplicación de presión a través de placas filtrantes, entre las cuales se encuentra el lodo. El agua es expulsada a través de medios filtrantes, mientras

que los sólidos quedan retenidos formando “tortas” compactas. Este sistema permite un manejo más limpio y controlado del residuo, con tiempos de operación definidos por ciclos. Además, el filtro prensa es una tecnología robusta y de bajo consumo energético, adecuada para plantas con caudales moderados y características de lodo como las previstas en este diseño.

3.3.2 TRATAMIENTOS QUÍMICOS

3.3.2.1 PILETA DE SULFATOS

La coagulación es un proceso químico fundamental en el tratamiento de efluentes, utilizado para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua. Estas partículas, debido a su carga eléctrica, tienden a permanecer en suspensión y no sedimentan fácilmente. Mediante la adición de coagulantes —como sulfato de aluminio o de hierro— se neutralizan las cargas eléctricas, favoreciendo que las partículas se agrupen y formen flóculos de mayor tamaño. Esta etapa tiene como objetivo generar estas estructuras para que luego puedan ser separadas físicamente en un proceso de sedimentación posterior. La coagulación, por tanto, actúa como un paso preparatorio clave para la remoción eficiente de sólidos suspendidos.

En este proyecto, la coagulación se lleva a cabo en una pileta específica conocida como pileta de sulfatos, donde se dosifica sulfato de aluminio como coagulante primario. Esta pileta opera en régimen continuo y está diseñada para generar las condiciones hidráulicas y de agitación necesarias para asegurar una adecuada formación de flóculos. El sulfato de aluminio utilizado se presenta como un polvo cristalino blanco, anhidro, no tóxico, y es altamente eficaz para provocar la aglutinación de partículas. La pileta está estratégicamente ubicada antes del sedimentador, ya que su función es exclusivamente química: generar los flóculos que serán luego separados físicamente en las etapas siguientes del tratamiento.

3.3.2.2 NEUTRALIZACIÓN

La neutralización es un proceso químico fundamental en el tratamiento de efluentes industriales, que consiste en ajustar el pH del agua residual para llevarlo a un rango compatible con los límites de vertido o con las etapas posteriores del tratamiento. Esto se logra mediante la adición controlada de sustancias ácidas o básicas, dependiendo de la naturaleza del efluente. El objetivo principal es evitar la corrosión de equipos, proteger los microorganismos en tratamientos biológicos y cumplir con la normativa ambiental vigente. La neutralización puede llevarse a cabo en régimen discontinuo o continuo, y generalmente se realiza en tanques equipados con sistemas de agitación que aseguren una mezcla uniforme de reactivos y efluentes.

En este proyecto se ha optado por un tanque neutralizador que opera en régimen continuo, equipado con agitación mecánica. Esta configuración permite el ajuste constante del pH a medida que el efluente fluye a través del sistema, logrando una mayor eficiencia y estabilidad en el proceso. El tanque está dimensionado para asegurar un tiempo de retención adecuado que permita la completa reacción entre los compuestos ácidos o básicos presentes y el agente neutralizante. La agitación garantiza una mezcla homogénea, evitando zonas muertas o fluctuaciones en el pH. Este diseño resulta especialmente adecuado para el tipo de efluente generado en la planta de producción de PVC, ya que permite un control preciso del pH previo a su ingreso a las etapas posteriores del tratamiento físico-químico.

3.4.3 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los tratamientos biológicos constituyen una etapa fundamental en la depuración de aguas residuales, ya que permiten la eliminación de la materia orgánica biodegradable mediante la acción de microorganismos. Estos organismos utilizan dicha materia como fuente de energía y carbono, transformándola en nuevos microorganismos y productos finales como dióxido de carbono, agua y otros compuestos. Existen dos grandes tipos de tratamientos biológicos según la presencia o ausencia de oxígeno: los tratamientos aerobios y los anaerobios. La elección entre uno u otro dependerá de las características del efluente, los requerimientos energéticos, el espacio disponible y otros factores técnicos y económicos.

TRATAMIENTO AEROBIO

El tratamiento aerobio se basa en la oxidación biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno. Dentro de los diferentes sistemas disponibles, el proceso de lodos activados se destaca por su alta eficiencia y su capacidad de adaptación a variaciones en la carga orgánica. En este proceso, una elevada concentración de biomasa acelera la degradación de los contaminantes orgánicos, permitiendo obtener buenos resultados en tiempos relativamente cortos. Algunas de las principales ventajas del sistema de lodos activados incluyen menor requerimiento de espacio, mayor eficiencia en la remoción de contaminantes, mejor control operativo y mayor estabilidad frente a cambios en el caudal o la carga del efluente. Estas características lo convierten en una opción confiable y ampliamente utilizada en instalaciones industriales y municipales.

Se optó por implementar un tratamiento secundario aeróbico debido a la composición del efluente, que presenta una carga moderada de sólidos suspendidos y un remanente de cloruro de vinilo monómero (VCM), compuesto potencialmente tóxico para los microorganismos. El tratamiento aeróbico es más eficiente y estable frente a estas condiciones, ya que es menos sensible a la presencia de sustancias inhibidoras y permite una degradación rápida de la materia orgánica. Además, es una tecnología ampliamente utilizada en la industria por su eficacia, control operativo y menor tiempo de retención hidráulica en comparación con los sistemas anaeróbicos, que requieren condiciones más estrictas y un monitoreo más intensivo.

Para llevar a cabo el tratamiento secundario del efluente generado en la planta, se optará por la implementación de un reactor de lodos activados de tipo convencional. Esta tecnología es ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales industriales debido a su alta eficiencia en la remoción de materia orgánica biodegradable (DBO) y sólidos en suspensión. Su funcionamiento se basa en el contacto continuo del efluente con una biomasa activa en condiciones aeróbicas, favoreciendo la degradación biológica de los contaminantes. La elección de este sistema se fundamenta en su fiabilidad operativa, capacidad de adaptación a diferentes cargas contaminantes, y en la abundante información técnica disponible, lo que facilita su dimensionamiento y operación. Además, el sistema permite un control efectivo de los parámetros operativos (como la carga orgánica, el tiempo de retención y la concentración de lodos), lo que asegura un rendimiento estable y adecuado a los requerimientos ambientales.

CAPÍTULO IV - TAMAÑO

4.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO

La definición del tamaño de la planta constituye una etapa fundamental en el desarrollo del proyecto, ya que condiciona tanto la magnitud de la inversión inicial como los costos operativos futuros. Esta decisión impacta directamente en la factibilidad técnica, económica y en los efectos ambientales y sociales que pueda generar la instalación. Para establecer un tamaño adecuado, es necesario analizar diversos factores interrelacionados, entre los que se encuentran el caudal y la composición de los efluentes a tratar, la capacidad de las tecnologías seleccionadas y el cumplimiento de la normativa vigente en materia de calidad de vertido.

4.2 FACTORES QUE DETERMINAN EL TAMAÑO DEL PROYECTO

La selección del tamaño de una planta de tratamiento de efluentes debe basarse en un análisis integral de múltiples factores que afectan tanto su diseño técnico como su viabilidad económica y ambiental. A continuación, se detallan los principales elementos a considerar:

- **Volumen y características de los efluentes a tratar:** El caudal promedio y máximo, así como la composición química del efluente (por ejemplo, pH, carga de sólidos, presencia de compuestos tóxicos o sales como los sulfatos), determinan la capacidad mínima que debe tener la planta para asegurar un tratamiento eficaz y continuo.
- **Número y tipo de generadores de efluentes:** Conocer cuántas industrias potencialmente utilizarán el servicio y el tipo de procesos que generan sus residuos líquidos permite dimensionar el sistema de manera acorde a la demanda real del mercado.
- **Tecnologías de tratamiento seleccionadas:** Cada tecnología tiene una capacidad máxima de operación, tiempos de retención específicos y requerimientos particulares que condicionan el volumen que puede ser tratado eficientemente, lo cual impacta directamente en el tamaño necesario de la instalación.
- **Normativas legales y ambientales:** Las exigencias de la legislación vigente en cuanto a los parámetros de calidad del vertido final obligan a diseñar sistemas con capacidad suficiente para garantizar el cumplimiento de los límites establecidos, incluso ante aumentos en el caudal o variaciones en la carga contaminante.
- **Aspectos económicos:** La inversión inicial disponible y los costos operativos influyen en la escala viable del proyecto. Generalmente, mayores tamaños permiten aprovechar economías de escala, reduciendo el costo por metro cúbico tratado, aunque también requieren mayor inversión inicial.
- **Financiamiento:** La posibilidad de acceder a financiamiento público o privado condiciona directamente el tamaño que puede adoptarse en una primera etapa del proyecto. Un mayor respaldo financiero permite construir una planta de mayor capacidad desde el inicio, mientras que limitaciones en el acceso al crédito pueden obligar a optar por una implementación modular o escalonada.
- **Proyecciones de crecimiento de la demanda:** Si se prevé un aumento futuro en la cantidad de efluentes industriales a tratar debido al crecimiento del parque industrial o a la incorporación de nuevos clientes, se debe contemplar este aspecto en el diseño para evitar subdimensionamientos a corto plazo.
- **Espacio físico disponible:** Las dimensiones del terreno y su disposición condicionan la posibilidad de instalar unidades de tratamiento de cierto tamaño y, eventualmente, de realizar

ampliaciones futuras si la demanda lo requiere.

- Impacto ambiental y social: Plantas de mayor tamaño pueden implicar un impacto ambiental más significativo, por lo que deben incluirse medidas de mitigación más rigurosas. Además, deben evaluarse las implicancias sociales, como la aceptación del proyecto por parte de la comunidad local.

4.2 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS.

La cantidad de efluente generado por tonelada de PVC producido depende del tipo de proceso empleado y del grado de eficiencia en el uso del agua dentro de la planta. En particular, en el proceso de producción de PVC en suspensión (S-PVC), se estima que se generan entre 2.300 y 3.700 litros de efluente por tonelada de PVC. Este rango representa el volumen que ingresa a las plantas de tratamiento luego de la producción, y está respaldado por datos del proyecto PVClean, financiado por la Unión Europea, que se centró en la optimización del manejo de agua en instalaciones.

Por otro lado, un estudio de análisis de ciclo de vida aplicado a una planta de S-PVC en Tailandia indica que se consumen aproximadamente 14.720 litros de agua por tonelada, aunque esta cifra incluye tanto el uso directo como indirecto de agua, por lo que no puede considerarse completamente equivalente al volumen de efluente generado.

En función de estos antecedentes, y considerando los litros de efluente que se generan en los 3 equipos más significativos dentro de la planta de PVC (centrífuga, torre de enfriamiento, unidad de desmineralización), se adopta un valor de referencia de 2,3 a 3,7 m³ de efluente por tonelada de PVC producido para el dimensionamiento preliminar de la planta.

Valor específico tomado considerando una producción de 20.000 Tn de PVC al año:

$$172,85 \frac{m^3 H_2O}{día} * \frac{365 días}{año} = 63090 \frac{m^3 H_2O}{año}$$
$$\text{Equivalente a } 3,15 \frac{m^3 H_2O * Tn PVC}{año}$$

Este dato representa la carga anual que la planta deberá tratar, y constituye la base para dimensionar tanto la infraestructura como la capacidad operativa requerida.

ESTIMACIÓN DEL PROGRAMA

Para llevar a cabo la estimación del programa de operación de la planta de tratamiento de efluentes, se define en primer lugar el período de instalación, el cual se proyecta en 14 meses, dado que se trata de una planta de tamaño moderado, con un esquema operativo relativamente simple. Este período se estima entre los años 2025 y 2026.

Una vez definida la capacidad de tratamiento anual, junto con la jornada laboral, el régimen de turnos, los períodos de mantenimiento y otros aspectos operativos, se procede a establecer el plan de operación anual.

Dado que la planta funcionará de forma continua las 24 horas del día, se consideran los siguientes aspectos para calcular el total de días y horas de operación:

- Mantenimiento programado: se estipulan 27 días anuales de parada técnica, destinados a tareas de mantenimiento preventivo, inspección y limpieza de equipos críticos.
- Contingencias operativas: se contempla un margen adicional de 3 días al año para atender posibles paradas imprevistas, fallas menores o situaciones extraordinarias.
- De este modo, se calcula un total de 30 días no operativos, lo que define un año de operación de 335 días efectivos, equivalentes a aproximadamente 8.040 horas anuales de funcionamiento.

Este esquema garantiza una operación continua y estable, adecuada para el tratamiento sostenido del volumen de efluente proyectado en función de la producción de PVC.

PROGRAMA DE OPERACIÓN		
MES	DIAS TRABAJADOS	OPERACIÓN (m3/mes)
ENERO (1)	21	3949
FEBRERO (2)	28	5266
MARZO (3)	31	5830
ABRIL (4)	25	4701
MAYO (5)	31	5830
JUNIO (6)	30	5642
JULIO (7)	31	5830
AGOSTO (8)	31	5830
SEPTIEMBRE (9)	25	4701
OCTUBRE (10)	31	5830
NOVIEMBRE (11)	30	5642
DICIEMBRE (12)	21	3949

TABLA 4.3: Desglose del Programa de Operación /Fuente: Elaboración propia.

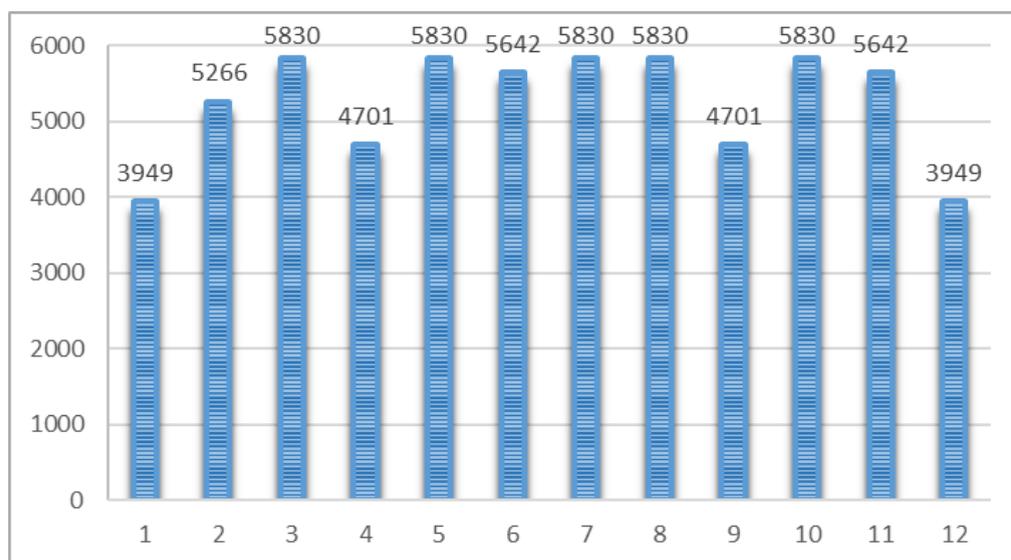


ILUSTRACIÓN 4.3: Gráfica del Plan de Operación /Fuente: Elaboración propia.

4.4 PROGRAMA DE OPERACIÓN

La presente sección detalla la organización operativa de la planta de tratamiento de efluentes industriales, especificando los recursos humanos requeridos, el régimen de trabajo, y los aspectos clave para garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y conforme a las normativas vigentes.

4.4.1. PROCESO OPERATIVO

La planta opera bajo un esquema continuo, en tres turnos diarios, y está diseñada para tratar efluentes industriales de diversa composición mediante procesos físico-químicos. Las principales etapas del tratamiento son:

- **Recepción y ecualización de efluentes:** Los efluentes industriales son recolectados y homogeneizados en un tanque de ecualización.
- **Tratamiento primario y específico:** Se aplican procesos de neutralización, floculación, decantación y tratamientos específicos según las características del efluente (por ejemplo, eliminación de sulfatos).
- **Control y descarga:** El efluente tratado se analiza y descarga cumpliendo con los parámetros exigidos por la legislación ambiental aplicable (por ejemplo, Resolución N° 336/03).

4.4.2. ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL

Dado el grado de automatización del sistema, la dotación de personal es reducida, pero suficiente para cubrir las funciones esenciales:

DOTACIÓN DE PERSONAL Y FUNCIONES OPERATIVAS			
PUESTO	CANTIDAD	JORNADA	FUNCIONES ESPECIALES
OPERADORES DE PLANTA	3	Turno rotativo (8 hs)	Monitoreo del sistema, registros operativos, respuesta a alarmas
TÉCNICO DE MANTENIMIENTO	1	Administrativo	Mantenimiento preventivo y correctivo
TÉCNICO DE LABORATORIO	1	Medio Tiempo	Muestreo y análisis de parámetros del efluente
RESPONSABLE TÉCNICO-ADMINISTRATIVO	1	Jornada Completa	Coordinación operativa, control de calidad, gestión de residuos

TABLA 4.4.2: Dotación de personal y funciones operativas /Fuente: Elaboración propia.

4.5 RÉGIMEN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA DE TURNOS.

La planta operará los 365 días del año en régimen continuo, en tres turnos diarios de 8 horas cada uno. A continuación se presenta el cronograma de turnos rotativos:

CRONOGRAMA DE TURNOS Y ASIGNACIÓN PERSONAL		
TURNO	HORARIOS	PERSONAL ASIGNADO
TURNO MAÑANA	06:00 - 14:00	1 Operador
TURNO TARDE	14:00 - 22:00	1 Operador
TURNO NOCHE	22:00 - 06:00	1 Operador
ADMINISTRATIVO	08:00 - 16:00	Técnico de mantenimiento, técnico de laboratorio (medio turno), responsable técnico

TABLA 4.5: Cronograma de turnos y asignación de personal /Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V - LOCALIZACION

5.1 DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN

La elección de la localización de una planta constituye una decisión estratégica de gran relevancia, ya que impacta directamente en la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto a largo plazo. Una ubicación adecuada no solo permite optimizar los costos operativos, logísticos y de infraestructura, sino que también facilita el cumplimiento normativo y la integración con el entorno.

Durante las etapas iniciales de análisis, es habitual que surjan múltiples alternativas viables. Por ello, se requiere un enfoque sistemático que contemple tanto una evaluación a nivel macro, para identificar regiones con condiciones generales favorables, como un análisis a nivel micro, destinado a determinar el sitio específico más conveniente dentro de la zona seleccionada. Factores como la disponibilidad de insumos, cercanía a los generadores de efluentes, acceso a vías de transporte, regulaciones ambientales y estabilidad de las condiciones externas, deben ser considerados de forma integral.

Una elección desacertada en esta etapa puede generar costos adicionales difíciles de revertir en el futuro, por lo que la localización debe ser definida con una visión técnica y estratégica, sustentada en estudios que respalden su sostenibilidad en el tiempo.

5.2 FACTORES DETERMINANTES

Los factores que se van a considerar, serán divididos en dos grupos, los primeros decidirán en forma global y los otros en forma específica, entre dos o más lugares determinados.

5.2.1 FACTORES PRIMARIOS- SELECCIÓN DE LA MACROLOCALIZACION

- **SUMINISTRO DE MATERIA PRIMA:** La materia prima que abastece a la planta de tratamiento de efluentes es el efluente de la planta productora de PVC, que ha sido caracterizado en capítulos anteriores.

Debido a la naturaleza del proyecto, la planta de tratamiento de efluentes debe ubicarse necesariamente en el mismo sitio donde se ubicaría la planta productora de policloruro de vinilo.

- **MERCADO:** El mercado objetivo se conforma por empresas productoras de PVC o empresas productoras de efluentes químicos complejos, afines a la analizada. Analizando de forma global las distintas macrolocalizaciones donde la planta podría ubicarse, determinamos que la zona Industrial de Buenos Aires es la más adecuada debido a que esta región cuenta con una alta concentración de industrias químicas, petroquímicas y manufactureras en general, que constituyen potenciales generadoras de efluentes con características similares a los que serán tratados por nuestra planta, lo que asegura una demanda estable y diversificada de servicios. Además, el análisis de competencia realizado evidenció la existencia de un único competidor directo, lo cual indica que el mercado no se encuentra saturado y que existe una oportunidad real de inserción y crecimiento, particularmente en una zona con un alto nivel de actividad industrial. Por otro lado, la cercanía a los centros de producción reduce significativamente los costos logísticos para los clientes y mejora la eficiencia en la recolección y tratamiento de efluentes, representando así una ventaja competitiva clave. Finalmente, estar ubicados en una región con infraestructura industrial consolidada permite un mejor acceso a servicios auxiliares, proveedores y mano de obra calificada, lo cual favorece la operatividad y la sostenibilidad del emprendimiento.

- **CLIMA:** Este factor será considerado debido a que la planta productora de PVC es del tipo Industria Química Pesada, contiene muchos equipos que por motivos de salubridad (toxicidad del CVM) y tamaño, no pueden estar en ambientes cerrados, o no es conveniente.

Por tal motivo, las condiciones climáticas deben ser estables, debemos evitar regiones donde hayan grandes saltos térmicos.

Analizando tal factor, consideramos que el clima de la provincia considerada se adapta fácilmente y de forma satisfactoria a nuestros requerimientos.

Analizando los 3 factores primarios más importantes, podemos determinar que la Zona Industrial de Buenos Aires, es considerada apta para la instalación de la planta de tratamiento de efluentes.

5.2.2 FACTORES SECUNDARIOS - SELECCIÓN DE LA MICRO LOCALIZACIÓN

Para la selección específica del lugar donde la planta se instalará tomaremos en cuenta los siguientes factores:

- Materia Prima
- Mercado
- Clima
- Transporte
- Mano de Obra
- Promoción Industrial
- Agua

5.3 MÉTODO DE SELECCIÓN - MÉTODO DE PONDERACIONES

El método que emplearemos para la selección es el de los factores ponderados, que consiste en hacer un análisis en función de los factores elegidos, los parámetros que tomaremos tienen relación directa con el proyecto.

Al total de todos los factores se le da un valor de 100 puntos, a cada factor en particular, se le asigna un valor estándar, que va de acuerdo a la importancia del mismo respecto de los demás factores considerados.

Los valores estándar son: Materia Prima (40), Mercado (20), Energía (5), Clima (2), Transporte (5), Mano de Obra (10), Promoción Industrial (15), Agua (3).

Para la calificación procederemos de la siguiente forma, el valor estándar se multiplica por un coeficiente para cada columna, por ejemplo: para la primera columna, "MALO" el coeficiente será 1, para la segunda columna, "REGULAR", el coeficiente será 2, y así sucesivamente. La suma de todos los valores para cada columna, dará un número que será la base de comparación para calificar si el lugar elegido es bueno, regular, etc.

MÉTODO DE PONDERACIONES - La Plata					
FACTOR	ESTÁNDAR	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
Materia Prima	40				160
Mercado	20			60	
Energía	5				20
Clima	2			6	
Transporte	5		10		
Mano de Obra	10				40
Materia Prima	40				160
Promoción Industrial	15			15	
Agua	3				12
TOTAL	100				

TABLA 5.3: Tabla de Valores para “Bahía Blanca”/Fuente- Elaboración Propia.

MÉTODO DE PONDERACIONES - Bahía Blanca					
FACTOR	ESTÁNDAR	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
Materia Prima	40				
Mercado	20				
Energía	5			15	
Clima	2			6	
Transporte	5		10	15	
Mano de Obra	10				40
Promoción Industrial	15	15			
Agua	3			9	
TOTAL	100				

TABLA 5.3: Tabla de Valores para “La Plata” /Fuente: Elaboración Propia.

Podemos apreciar que para La Plata, obtenemos un valor suma de 220 puntos, lo que lo clasifica como “BUENO”, mientras que para Bahía Blanca, el valor suma es de 353 puntos, señalando que el sitio se puede clasificar como “MUY BUENO”, y que es el lugar recomendado por el estudio.

Dentro de la ubicación señalada por el estudio, debemos destacar que el lugar con las mejores condiciones para la radicación de una industria de este tipo, sería el “POLO PETROQUIMICO DE BAHIA BLANCA”. Las ventajas que ofrece esta ubicación se califican como de Ingeniería primaria y servicios.

El Polo Petroquímico de Bahía Blanca representa uno de los principales complejos industriales del país y se configura como un entorno ideal para la instalación de una planta de tratamiento de efluentes industriales. Este polo concentra numerosas empresas del sector petroquímico y químico, incluyendo productoras de PVC, cloro, soda cáustica, etileno, polietileno y otros compuestos clave, lo que genera una importante demanda de servicios ambientales especializados. Además de su perfil productivo, el polo cuenta con una infraestructura industrial altamente desarrollada, que incluye acceso a servicios logísticos, portuarios, suministro energético confiable, redes de transporte, y disponibilidad de mano de obra técnica calificada. También se destacan las sinergias entre empresas, que permiten optimizar el uso de recursos, compartir servicios auxiliares y facilitar la implementación de

soluciones integradas para la gestión ambiental. Esta combinación de factores convierte al Polo Petroquímico de Bahía Blanca en la localización óptima para nuestro proyecto, al ofrecer un entorno con alta demanda potencial, competitividad operativa y condiciones favorables para el crecimiento sostenible.



ILUSTRACIÓN 5.3 : Polo Petroquímico de Bahía Blanca /Fuente: Revista "La Nueva".

CAPÍTULO VI - INGENIERÍA DE PROCESO

6.1 INGENIERÍA DE PROCESO

En este capítulo, se detalla la ingeniería de proceso, se presenta una propuesta de diseño de la planta de tratamiento, se describen las etapas y tecnologías seleccionadas para tratar los efluentes.

6.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA

Conociendo las características del efluente, su biodegradabilidad, necesidad de reactivos del estilo nutrientes y reguladores de pH, habiendo detallado las tecnologías disponibles y necesarias para tratar dicho efluente y habiendo presentado una propuesta de diseño es que se plantea el siguiente diagrama de flujo simplificado de la planta de tratamiento de efluentes.

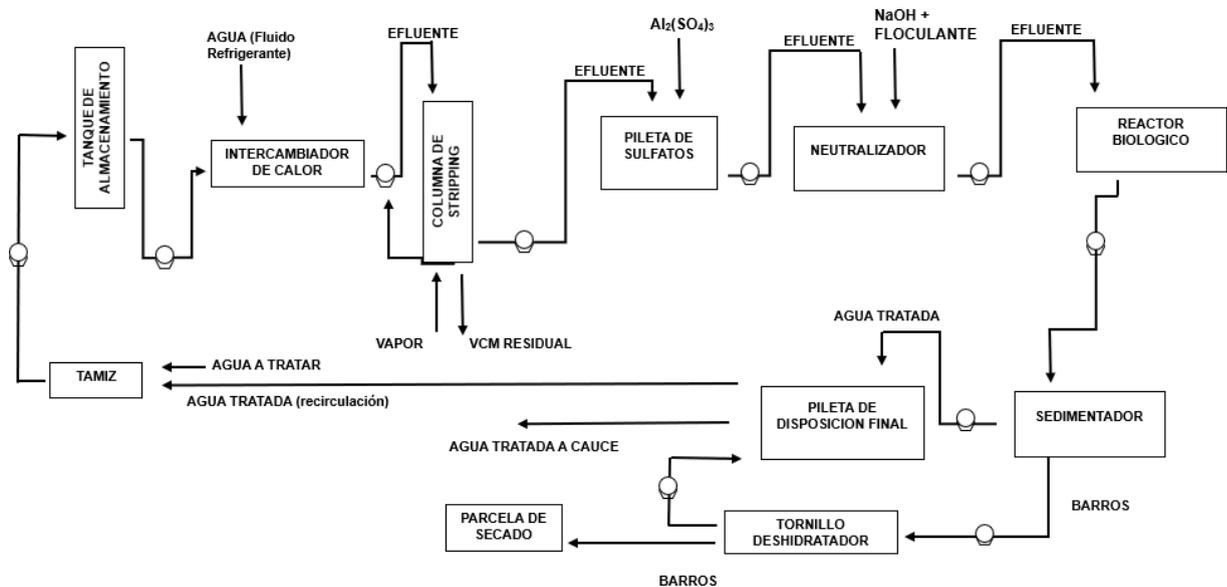


ILUSTRACIÓN 6.2: Diagrama de flujo del tratamiento de efluentes de la producción de PVC /Fuente: Elaboración propia.

6.3 BALANCE DE MATERIA

Para estimar el caudal total de efluente generado en la producción anual de 20.000 toneladas de resina de PVC, se consideraron como principales generadores de efluentes a la centrífuga, la torre de enfriamiento y las unidades de desmineralización de agua.

Dado que el proceso productivo se basa en la tecnología de suspensión, el agua que ingresa al reactor actúa únicamente como medio de soporte para el VCM, sin intervenir en la reacción química. Por lo tanto, su concentración no se ve alterada en el efluente. Según los datos del proyecto, el reactor de polimerización alcanza una conversión del 95%, lo que implica que el 5% del VCM permanece sin reaccionar, formando una solución con el agua de proceso. Como ya se indicó, el contenido de agua no varía durante esta etapa.

Cabe destacar que la centrífuga es el equipo inmediatamente posterior al reactor de polimerización, tal como se observa en el diagrama de flujo de producción de PVC.

6.3.1 VOLUMEN ESTIMADO A TRATAR

- CENTRÍFUGA

Si bien no se dispone de datos precisos sobre el caudal de efluente generado específicamente por esta unidad, se cuenta con información proporcionada por la planta seleccionada en su balance de masa, donde se detalla el flujo de agua que ingresa al horno rotativo, equipo que continúa el proceso luego de la centrífuga. A continuación, se presentan los datos relevantes:

- Producción anual de PVC 20.000 Tn
- Flujo másico de pasta que ingresa el Horno de secado: $2.750 \frac{kg}{h}$
- Composición de pasta que ingresa el Horno de secado: 25% H_2O ; 75% PVC

Mediante el análisis de distintas fuentes bibliográficas, se ha estimado que la corriente que alimenta a la centrífuga presenta una composición aproximada de 65% de agua y 35% de PVC.

En función de estos valores, es posible plantear un balance para la corriente de agua, que constituye el componente de interés en este estudio.

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico de entrada}_{\text{Horno de secado}} &= \text{Flujo másico de salida}_{\text{Centrífuga}} : \\ 2.750 \frac{kg \text{ pasta}}{h} * 0,25 &= 687,5 \frac{kg \text{ agua}}{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico de entrada}_{\text{Centrífuga}} : \\ 687,5 \frac{kg \text{ agua}}{h} * \frac{100\%}{65\%} &= 4.468,75 \frac{kg \text{ agua}}{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efluente}_{\text{Centrífuga}} &= \text{Flujo másico de entrada}_{\text{Centrífuga}} - \text{Flujo másico de salida}_{\text{Centrífuga}} \\ (4.468,75 - 687,5) \frac{kg \text{ H}_2\text{O}}{h} &= 3781,25 * \frac{1 m^3}{1000 kg} * \frac{24 h}{1 \text{ día}} = 90,75 \frac{m^3 \text{ H}_2\text{O}}{\text{día}} \end{aligned}$$

- TORRE DE ENFRIAMIENTO

La torre de enfriamiento constituye una unidad clave dentro del proceso, ya que permite disipar el calor generado durante la reacción de polimerización. En este sistema, el agua circulante se evapora parcialmente y una fracción del total es purgada de manera continua, con el objetivo de evitar la acumulación de sales y sólidos disueltos que puedan afectar el rendimiento del equipo.

Para estimar el caudal de purga asociado a esta unidad, se considera un consumo de agua de entre 1,5 y 2,5 m³ por tonelada de PVC producida. En este caso, se toma un valor promedio de 2 m³/ton PVC. A partir de una producción anual de 20.000 toneladas de PVC, se estima lo siguiente:

$$\text{Consumo anual de agua: } 20.000 \text{ Tn PVC} * 2 \frac{m^3 \text{ H}_2\text{O}}{\text{Tn PVC}} = 40.000 \frac{m^3 \text{ H}_2\text{O}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo diario de agua: } 40.000 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{año}} * \frac{\text{año}}{365 \text{ días}} = 110 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}}$$

Considerando que aproximadamente el 5% del agua en la torre se purga diariamente:

$$\text{Caudal de purga: } 110 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}} * 5\% = 5,5 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, se estima que la torre de enfriamiento genera un caudal de purga de aproximadamente $5,5 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}}$ de efluente líquido, que debe ser tratado en la planta.

- UNIDAD DE DESMINERALIZACIÓN DE AGUA

Las unidades de desmineralización, compuestas principalmente por sistemas de resinas de intercambio iónico y ósmosis inversa, cumplen un rol fundamental en la producción de agua de alta pureza. Este tipo de agua es esencial para la preparación de las soluciones de polimerización en el proceso de fabricación de PVC, ya que impurezas o sales disueltas pueden interferir en la calidad del producto final.

En el caso de la ósmosis inversa, se estima un rendimiento promedio del 75%. Esto implica que del total de agua alimentada al sistema, aproximadamente un 25% corresponde a agua de rechazo, que se considera como efluente a tratar.

Tomando como base el consumo diario de agua estimado previamente ($110 \text{ m}^3/\text{día}$), el caudal total requerido para obtener dicho volumen de agua purificada puede calcularse como:

$$110 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}} * 75\% = 146,7 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, el efluente de la unidad de desmineralización será:

$$(146,7 - 110) = 36,7 \frac{\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{día}}$$

En consecuencia, se estima que las unidades de desmineralización generan un caudal de efluente de aproximadamente $36,7 \text{ m}^3$ por día, correspondiente al rechazo del sistema de ósmosis inversa, que deberá ser tratado adecuadamente en la planta.

EFLUENTE TOTAL A TRATAR		
Equipos	Unidad	Volumen
Centrífuga	$\text{m}^3/\text{día}$	90,75
Torres de enfriamiento	$\text{m}^3/\text{día}$	5,5
Unidad de desmineralización	$\text{m}^3/\text{día}$	36,7
TOTAL	$\text{m}^3/\text{día}$	132,95

TABLA 6.3.1: Volumen de efluente total a tratar /Fuente: Elaboración propia.

Considerando un factor de seguridad de 1,3 para posibles ampliaciones a futuro, se estima un total de:

$$172,85 \frac{\text{m}^3 \text{efluente}}{\text{día}} = 7,202 \frac{\text{m}^3 \text{efluente}}{\text{h}} \approx 7,3 \frac{\text{m}^3 \text{efluente}}{\text{h}}$$

6.3.1.1 CONDICIONES INICIALES DEL EFLUENTE

En la siguiente tabla se presentan las características y cantidades del efluente que ingresará a la planta.

CONDICIONES INICIALES DEL EFLUENTE			
Parámetro	Unidades	Valor medio	Valor máximo permisible Resolución 336/03
T	°C	65	<45
pH	-	5,75	6,5-10
CE	μS/cm	1091	
SS	mg/L O ₂	518,5	<1
DBO ₅	mg/L O ₂	150	50
DQO	mg/L O ₂	323,5	250

TABLA 6.3.1.1: Caracterización del efluente /Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 PRETRATAMIENTO

6.3.2.1 TAMICES

Como etapa inicial del tratamiento del efluente, se incorpora un sistema de tamizado estático inclinado con el objetivo de retener sólidos gruesos que puedan interferir con el funcionamiento de las etapas posteriores. Aunque el efluente presenta sólidos suspendidos de tamaño inferior a 0,45 μm, el tamiz cumple una función de protección mecánica, evitando la acumulación de restos de mayor tamaño que pudieran ingresar de forma accidental al sistema.

El tamiz que emplearemos es de tipo estático, sin partes móviles, con una malla de 0,5 mm de paso, suficiente para evitar el ingreso de elementos disruptivos como fibras, trapos o residuos de producción. El equipo se instala en forma inclinada (45°) para facilitar la descarga de sólidos y minimizar el mantenimiento. El diseño considera una velocidad de paso del flujo de 0,6 m/s, adecuada para prevenir obstrucciones sin arrastrar partículas retenibles.

BALANCE DE MASA PARA EL DESBASTE		
Parámetro	Unidad	Valor
SST	mg/L	518,5
VCM	kg/h	36,5
Eficiencia de remoción SST	%	15
Eficiencia de remoción VCM	%	70
Caudal de efluente	L/h	7300

Tabla 6.3.2.1: Balance de masa para el desbaste /Fuente: Elaboración propia.

$$m_{SST} = 0,0005185 \frac{kg}{L} * 7300 \frac{L}{h} = 3,785 \frac{kg}{h}$$

$$msst\ removida = 3,785 * 0,15 = 0,568 \frac{kg}{h}$$

$$mVCM, removida = 36,5 * 0,70 = 25,55 \frac{kg}{h}$$

$$m_{residuos} = 0,568 + 25,55 = 26,12 \frac{kg}{h}$$

6.3.3 ETAPA DE TRATAMIENTO PRIMARIO

6.3.3.1 STRIPPING

El stripping es un proceso físico que se utiliza para separar compuestos volátiles disueltos en un líquido, mediante el contacto con un gas, generalmente aire o vapor. Durante esta operación, el gas arrastra los compuestos volátiles hacia una fase gaseosa, facilitando su eliminación del efluente líquido. Este proceso se realiza comúnmente en columnas de contacto verticales, donde el líquido fluye de arriba hacia abajo y el gas de abajo hacia arriba, en contracorriente, lo que maximiza la transferencia de masa entre ambas fases. El stripping es especialmente útil cuando se requiere reducir la concentración de sustancias orgánicas volátiles en el agua antes de su descarga o tratamiento posterior.

El fluido gaseoso que utilizaremos será vapor de agua, que ingresará a la torre de stripping sin presencia de VCM, y las características se presentan a continuación:

CARACTERÍSTICAS DEL VAPOR		
Parámetro	Unidades	Valor
Temperatura	°C	90
Presión	atm	1
Constante de Henry (T)	atm / m ³ * mol	0,13
Densidad	kg / m ³	0,6
Coefficiente de reparto	m	1,3

Tabla 6.3.3.1: Cálculo del vapor requerido para la torre de Stripping /Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la relación aire/agua necesaria en una torre de stripping (o desorción), una operación que transfiere un contaminante volátil (VCM) desde un líquido hacia una corriente de vapor, vamos a utilizar una expresión que se deduce a partir del balance de materia y la ley de Henry. Representa la relación mínima de caudales aire/agua (G/L) necesarios para lograr una cierta eficiencia de remoción del contaminante. Cuanto más alto el cociente (C_{in}/C_{out}), mayor será la cantidad de aire requerida.

$$\frac{G}{L} \geq \frac{1}{Hc} * \ln\left(\frac{C_{in}}{C_{out}}\right)$$

$$\ln\left(\frac{C_{in}}{C_{out}}\right) = \ln(10) = 2,3$$

Para un 90% de remoción: $\frac{G}{L} \geq \frac{1}{0,13} * 2,3 = 17,7$

Considerando un 30% de margen de diseño: $17,7 * 1,3 = 23,01$

Caudal de vapor teórico: $Q_{aire} = 7,3 \frac{m^3}{h} * 23,01 = 167,98 \frac{m^3}{h} = 168 \frac{m^3}{h}$

Donde:

G → Caudal molar o volumétrico de vapor, en m³/h o mol/h.

L → Caudal molar o volumétrico del líquido (agua), en m³/h o mol/h.

Hc → Constante de Henry para el contaminante (VCM), en atm·m³/mol.

Cin → Concentración del contaminante en el agua al ingreso (antes del stripping).

Cout → Concentración del contaminante en el agua al egreso (después del stripping).

BALANCE DE MASA PARA EL VCM		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de efluente	m ³ /h	7,3
VCM en efluente de entrada	% p/v	5
Densidad del efluente	kg/m ³	1000
Porcentaje de remoción deseado de VCM	%	90

Tabla 6.3.3.1: Balance de masa para el VCM /Fuente: Elaboración propia.

Vamos a calcular el caudal másico de VCM que ingresa a la torre de stripping y el caudal másico de VCM que es removido.

Masa de agua: $7,3 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{kg}{m^3} = 7300 \frac{kg}{h}$

Masa de VCM que ingresa: $0,05 * 7300 \frac{kg}{h} = 365 \frac{kg}{h}$

Si se remueve el 90% del VCM: $365 \frac{kg}{h} * 0,90 = 328,5 \frac{kg}{h}$

VCM remanente en el efluente: $365 \frac{kg}{h} - 328,5 \frac{kg}{h} = 36,5 \frac{kg}{h}$

6.3.3.2 REQUERIMIENTO DE SULFATO DE ALUMINIO- PILETA DE SULFATOS

La pileta de sulfatos constituye una unidad clave dentro del esquema de tratamiento de efluentes, en la que se lleva a cabo el proceso de coagulación. Su denominación responde a la naturaleza de los reactivos utilizados: coagulantes inorgánicos basados en sales de sulfato, tales como el sulfato de hierro (Fe₂(SO₄)₃) o el sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃).

Estos compuestos actúan neutralizando las cargas eléctricas superficiales de las partículas coloidales presentes en el agua residual. Este mecanismo favorece la desestabilización de las partículas en suspensión y promueve su aglomeración en flóculos más grandes, que serán posteriormente removidos en la unidad siguiente de sedimentación.

Es importante destacar que en esta etapa no se produce la separación física de los sólidos del líquido, sino únicamente su preparación para facilitar dicha separación. Por lo tanto, el objetivo específico de esta pileta no es la remoción directa de contaminantes, sino la modificación físico-química del efluente para optimizar el rendimiento del tratamiento en las etapas posteriores.

Se seleccionó sulfato de aluminio como coagulante por su alta eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica, su compatibilidad con el pH del efluente (pH = 5,75), y su bajo costo. Además, genera flóculos fácilmente sedimentables y produce menos lodos

que otros coagulantes, lo que optimiza el tratamiento y reduce costos operativos. Su disponibilidad comercial y eficacia lo convierten en la opción más adecuada para el sistema en estudio.

Características del Sulfato de Aluminio:

- Coagulante Primario
- Cristales ortorombicos o monoclinicos de color blanco
- Se halla en forma anhidra
- Polvo Cristalino
- No tóxico
- Densidad en estado sólido 2,672 g/l
- Solubilidad en agua 87 g/100ml

Para determinar las condiciones óptimas para el tratamiento, se utiliza la prueba de jarras, un ensayo que simula los procesos de coagulación y floculación y contribuye a la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica presente, los cuales son responsables de los problemas de turbidez, olor y sabor.

El propósito de esta prueba es determinar las variables físicas y químicas como:

- pH óptimo de operación del coagulante
- Concentración de coagulante
- Tiempos de mezcla coagulante-floculante.
- Correlación de velocidades de sedimentación de los flóculos formados.
- Eficiencia de remoción de turbidez.

Para la preparación del coagulante se utilizó un vaso de precipitados de 150 ml, donde se diluyeron 5g de Sulfato de aluminio en 100 ml de agua, obteniendo una dilución al 5%. Posteriormente, la solución se homogeniza en una plancha con agitación magnética durante 10 minutos a una velocidad de 60 rpm hasta lograr la disolución de las partículas. Una vez que los reactivos se encuentran listos, se procede a realizar el test de jarras como se observa a continuación:



Ilustración 6.3.3.2: Test de jarras con hidróxido de sodio como neutralizante y sulfato de aluminio como coagulante /Fuente: Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales - Carlos Melo, Bogotá.

A continuación, se detallan las dosis de cada reactivo agregado a cada una de las jarras:

Alternativa 2				
Parámetros	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosis coagulante (mg/L)	50	75	80	95
Dosis neutralizante (mg/L)	20	20	20	0,2
Dosis de floculante (ppm)	1	1	1	1
Dosis de Hipoclorito de sodio (ppm)	10	10	10	10
Conductividad inicial ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	676	676	849	849
Conductividad final ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1516	1479	1520	1572
Turbiedad inicial (NTU)	185	185	185	185
Turbiedad final (NTU)	0,85	1,11	1,6	1,4
% de remoción de turbiedad	99,54	99,4	99,14	99,24
pH inicial	8,18	8,18	8,55	8,5
pH final	7,75	7,76	6,85	6,8

Tabla 6.3.3.2: Test de jarras, alternativa dos /Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se muestra el análisis obtenido de cada una de las jarras evaluadas dando como mejor resultado la jarra #1.

Numero de Jarras	Descripción
1	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento considerable en el tamaño de floc • Velocidad de sedimentación mayor (15-20 minutos) • Nivel de turbiedad es 0,85 NTU • Excelente comportamiento en la remoción de turbiedad • Floc de mayor tamaño y uniforme • Según el índice de Willcomb el tamaño del floculo se clasifica con un valor de 8 considerándolo un floc bueno donde se deposita fácilmente, aunque no completamente
2	<ul style="list-style-type: none"> • Buen comportamiento en remoción de turbiedad • Velocidad de sedimentación (20 minutos) • Según el índice de Willcomb se clasifica como un floc claro de tamaño relativamente pequeño y precipita con lentitud (valor: 6). • Presencia de espuma en la superficie • Nivel de turbiedad (1.11 NTU)
3	<ul style="list-style-type: none"> • Se clasifica como un floc claro de tamaño relativamente pequeño y precipita con lentitud (valor: 6). • Buen nivel de floc • Conductividad final ($1520 \mu\text{S}/\text{cm}$) • Nivel de turbiedad (1.6 NTU)
4	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad final media • Nivel de turbiedad (1.4) • Se clasifica como un floc claro de tamaño relativamente pequeño y precipita con lentitud (valor: 6).

Tabla 6.3.3.2: Resultado de alternativa dos, test de jarras /Fuente: propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales- Carlos Melo, Bogotá.

BALANCE DE MASA PARA EL SULFATO DE ALUMINIO		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal del efluente	m^3/h	7,3
Operación diaria	h	24
SS	mg/L	87
Dosis estimada de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	mg/L	50
Concentración comercial	% p/p	8

Tabla 6.3.3.2: Balance de masa para el Sulfato de aluminio /Fuente: Elaboración propia.

Para una dosis de 50 mg/L: $7,3 \frac{m^3}{h} * 24 \frac{h}{día} * 335 \frac{días}{año} = 58.632 \frac{m^3}{año}$

Masa anual de coagulante: $58.632 \frac{m^3}{año} * 0,05 \frac{kg}{m^3} = 2931,6 \frac{kg}{año}$

Volumen anual requerido para una solución comercial es al 8% p/p:

$$\frac{2931,6 \frac{kg}{año}}{0,08} = 36645 \frac{kg}{año}$$

$$\frac{36645 \frac{kg}{año}}{1,33 \frac{kg}{L}} = 27,55 \frac{m^3}{año}$$

6.3.3.3 REQUERIMIENTO DE HIDROXIDO DE SODIO- NEUTRALIZADOR

Con el fin de garantizar un pH adecuado en el efluente antes de su ingreso a las etapas de floculación y desinfección, se incorpora hidróxido de sodio (NaOH) como agente neutralizante. Este compuesto permite elevar el pH de corrientes ácidas de manera eficaz, asegurando condiciones óptimas para los tratamientos físico-químicos posteriores.

El NaOH es ampliamente utilizado en la industria debido a su alta solubilidad, facilidad de dosificación y rápida acción. Su uso también minimiza la generación de sólidos secundarios en comparación con otros alcalinizantes como la cal. En los apartados siguientes, se estimará la cantidad necesaria de reactivo, en base al caudal de efluente a tratar y la dosis determinada experimentalmente.

Características del NaOH

- Reacción rápida y eficiente para la neutralización.
- Produce menos lodos en comparación con la cal.
- Fácil de aplicar en soluciones líquidas.
- Alta Reactividad por lo que es más peligrosa para su manejo.
- Requiere equipos resistentes a la corrosión.

BALANCE DE MASA PARA EL HIDRÓXIDO DE SODIO		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal del efluente	m ³ /h	7,3
Horas de operación	h	24
Operación diaria	día	335
Dosis estimada de Na(OH)	mg/L	20
Concentración comercial	% p/p	50

Tabla 6.3.3.3: Balance de masa para el Hidróxido de sodio /Fuente: Elaboración propia.

Para una dosis de 50 mg/L: $7,3 \frac{m^3}{h} * 24 \frac{h}{día} * 335 \frac{días}{año} = 58.632 \frac{m^3}{año}$

Masa anual de Hidróxido de Sodio: $58.632 \frac{m^3}{año} * 20 \frac{g}{m^3} = 1172,64 \frac{kg}{año}$

Volumen anual requerido para una solución comercial es al 50% p/p:

$$\frac{1172,64 \frac{kg}{año}}{0,5} = 2345,28 \frac{kg}{año}$$

6.3.3.4 REQUERIMIENTO DE FLOCULANTE- NEUTRALIZADOR

Se emplea el Floculante Lipesa 1569-A, un polímero catiónico de alto peso molecular, diseñado para mejorar la aglomeración de partículas finas, facilitando su posterior sedimentación.

Este producto actúa formando flóculos de mayor tamaño y densidad que sedimentan con mayor facilidad, permitiendo separar eficientemente los sólidos del agua residual. Su uso se da posterior a la adición del coagulante, ya que este último cumple la función de neutralizar las cargas superficiales de las partículas en suspensión, lo cual es necesario para que el floculante pueda generar puentes entre ellas y favorecer la formación de flóculos estables.

Características del Lipesa 1569-A

- Polímero catiónico en solución líquida.
- Líquido viscoso.
- Incoloro a ligeramente amarillento.
- Soluble en agua.
- Ideal para aguas con baja turbidez y contenido orgánico moderado.
- Aplicación: agitación lenta tras su dosificación para favorecer la formación de flóculos.

La dosis óptima se determinó a través de una prueba de jarras, en la cual se evaluó el comportamiento del floculante en presencia del efluente específico. El resultado indicó una dosis eficaz de 1 ppm (partes por millón).

BALANCE DE MASA PARA EL POLÍMERO LIPESA 1569-A		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal del efluente	m ³ /h	7,3
Horas de operación	h	24
Operación diaria	día	335
Dosis estimada de Lipesa 1569-A	mg/L	1
Concentración comercial	% p/p	90

Tabla 6.3.3.4: Balance de masa para el Polímero Lipesa 1569-A /Fuente: Elaboración propia.

Para una dosis de 1 mg/L: $7,3 \frac{m^3}{h} * 24 \frac{h}{día} * 335 \frac{días}{año} = 58.632 \frac{m^3}{año}$

Masa anual de Polímero Lipesa 1569-A: $58.632 \frac{m^3}{año} * 1 \frac{g}{m^3} = 58632 \frac{kg}{año}$

Volumen anual requerido para una solución comercial es al 90% p/p:

$$\frac{58,632 \frac{kg}{año}}{0,9} = 65147 \frac{kg}{año}$$

6.3.3.5 REQUERIMIENTO DE HIPOCLORITO DE SODIO

Una vez completada la etapa de coagulación, es fundamental asegurar la eliminación de microorganismos patógenos presentes en el efluente, especialmente si este será reutilizado o vertido en cuerpos receptores. Para esta función se incorpora hipoclorito de sodio (NaClO) como agente desinfectante. Su aplicación permite cumplir con los requisitos microbiológicos establecidos por la legislación vigente y garantizar un efluente seguro desde el punto de vista sanitario.

En este proyecto se definió una dosis de 10 ppm, valor determinado mediante pruebas de laboratorio (test de jarras), y se realizó el cálculo del volumen necesario de solución comercial para cubrir toda la operación anual.

Características del Hipoclorito de Sodio

- Efectivo contra bacterias, virus y algas.
- Relativamente económico.
- Fácil de aplicar y dosificar.
- Estable si se almacena correctamente (lugar fresco, protegido del sol).
- Es corrosivo; requiere materiales resistentes (PVC, PEAD, acero inoxidable 316).
- Pierde eficacia con el tiempo y por exposición a la luz.

BALANCE DE MASA PARA EL HIPOCLORITO DE SODIO		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal del efluente	m ³ /h	7,3
Horas de operación	h	24
Operación diaria	día	335
Dosis estimada de NaClO	mg/L	20
Concentración comercial	% p/p	10

Tabla 6.3.3.5: Balance de masa para el Hipoclorito de sodio / Fuente: Elaboración propia.

Masa de Cloro requerida por hora: $10 \frac{mg}{L} * 7,3 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{L}{m^3} = 73000 \frac{mg}{h}$

Según la concentración comercial: $\frac{73000 \frac{mg}{h}}{100000000 \frac{mg}{m^3}} = 0,00073 \frac{m^3}{h} = 5,868 \frac{m^3}{año}$

6.3.4 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Se optó por implementar un tratamiento secundario aeróbico debido a la composición del efluente, que presenta una carga moderada de sólidos suspendidos y un remanente de cloruro de vinilo monómero (VCM), compuesto potencialmente tóxico para los microorganismos. El tratamiento aeróbico es más eficiente y estable frente a estas condiciones, ya que es menos sensible a la presencia de sustancias inhibitoras y permite una degradación rápida de la materia orgánica. Además, es una tecnología ampliamente utilizada

en la industria por su eficacia, control operativo y menor tiempo de retención hidráulica en comparación con los sistemas anaeróbicos, que requieren condiciones más estrictas y un monitoreo más intensivo.

6.3.4.1 REACTOR DE LODOS CONVENCIONAL

Para llevar a cabo el tratamiento secundario del efluente generado en la planta, se optará por la implementación de un reactor de lodos activados de tipo convencional.

BALANCE DE MASA PARA LOS RESIDUOS BIOLÓGICOS

Como se indicó en el capítulo III- Tecnología, no será necesario un aporte adicional de nutrientes para el tratamiento biológico, ya que el efluente cumple con los requerimientos.

BALANCE DE MASA PARA LOS RESIDUOS BIOLÓGICOS			
Parámetro	Unidad	Rango	Valor
Caudal del efluente	m ³ /h		7,3
Rendimiento celular	kg SSV/L	0,3-0,5	0,4
DQO entrada	mg/L		332
DQO salida	mg/L		48,3

Tabla 6.3.4.1: Balance de masa para los residuos biológicos /Fuente: Elaboración propia.

$$Px = Y * QE * (So - S) * \frac{24}{1000}$$

Lodos que se generan diariamente:

$$Px = 0,4 \frac{kg\ SSV}{L} * 7,3 \frac{m^3}{h} * (273,7 \frac{mg}{L}) * \frac{24}{1000} = 19,2 \frac{kg}{dia} = 0,8 \frac{kg}{h}$$

Demanda de Oxígeno en el reactor biológico:

$$Ro = QE * (So - S) * \frac{24}{1000} - 1,42 * Px$$

$$Ro = 7,3 \frac{m^3}{h} * (273,7 \frac{mg}{L}) * \frac{24}{1000} - 1,42 * 19,2 \frac{kg}{dia} = 20,69 \frac{kg\ O_2}{dia}$$

Debido a la baja carga orgánica que presenta el efluente a tratar, hemos considerado inocular microorganismos en el reactor biológico.

Se recomienda una mezcla comercial de bacterias aerobias especializadas en tratamiento de efluentes, que incluyen géneros comunes de fangos activos (como *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Pseudomonas*, entre otros). Estos cultivos:

- Aceleran la degradación de DBO y DQO.
- Mejoran sedimentabilidad y formación de flóculos.
- Están diseñados para uso en sistemas aerobios.

Producto recomendado: Bacterias biodigestor / Pozo ciego – 500 g.

Este inoculante de bacterias, aunque originalmente destinado a pozos sépticos, es adecuado para sistemas de tratamiento general y está disponible localmente.

- **Precio estimado: AR\$ 35.000 por 500 g → AR\$ 70.000 / kg (~USD 350 / kg).**
- Formato: polvo o gránulos esterilizados con alta concentración de células viables.

Los manuales técnicos recomiendan una dosis inicial de 0,1 – 0,5 kg de cultivo activo por 100 m³ de reactor para iniciar sistemas biológico

Cálculo de la Dosis de Inoculación, tomaremos como referencia una dosis de 0,3 kg/100 m³.

$$Ci = \frac{47 \text{ m}^3 * 0,3 \text{ kg}}{100 \text{ m}^3} = 0,141 \text{ kg} \approx 200 \text{ g}$$

Lo que asegura una concentración de biomasa adecuada para iniciar el proceso aeróbico. Este valor se encuentra dentro del rango recomendado por Metcalf & Eddy (0,1-0,5 kg/100 m³) y está ajustado a la baja carga biológica del efluente. El costo estimado de esta dosis es de AR\$ 14.000.

6.3.4.2 GESTION Y DISPOSICION DE LODOS

Los lodos generados en la planta de tratamiento serán dispuestos en parcelas destinadas a su secado natural. Una vez alcanzadas las condiciones adecuadas, serán retirados por un tercero dedicado a su tratamiento y disposición final, garantizando el cumplimiento de normativas ambientales.

6.3.5 CONDICIONES FINALES Y FLUJOS DE DESCARGA DEL EFLUENTE

Para estimar la eficiencia de remoción de contaminantes a lo largo del tratamiento del efluente, se consultaron distintas fuentes bibliográficas académicas reconocidas, como Wastewater Engineering de Metcalf & Eddy (5ª ed.) y Wastewater Treatment de Tchobanoglous et al. Se consideraron valores típicos de eficiencia para cada unidad, en función del tipo de contaminante predominante y el mecanismo de remoción. De esta forma, se asignaron eficiencias referenciales para sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y compuestos volátiles como el cloruro de vinilo monómero (VCM), permitiendo evaluar la progresiva depuración del efluente en cada etapa del tratamiento.

ETAPA	EQUIPO	FUNCION	EFICIENCIA (%)	VALOR TOMADO
PRETRATAMIENTO	Tamiz	Remoción de sólidos grandes y materiales en suspensión.	10–20 % (SST)	15%
	Intercambiador de calor	Ajuste de temperatura del efluente.	—	-
TRATAMIENTO PRIMARIO	Columna de stripping	Remoción de compuestos volátiles como cloruro de vinilo (VCM).	70–90 % (VCM)	90%
	Pileta de sulfatos	Precipitación química de sulfatos mediante $Al_2(SO_4)_3$.	60–90 % (SST coloidales)	80%
	Neutralizador	Ajuste de pH para mejorar la floculación en etapas siguientes.	—	-
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Reactor biológico	Biodegradación aerobia de materia orgánica (DBO, DQO).	85–95 % (DBO) / 70–90 % (DQO) / 35% SS	90% DBO / 85% DQO / 35% SS
	Sedimentador	Separación de biomasa generada (barros biológicos).	85–95 % (Sólidos biológicos)	90%
DISPOSICION FINAL	Pileta de disposición final	Almacenamiento y control antes del vuelco o reutilización.	—	-

TABLA 6.3.5: Eficiencias típicas de remoción /Fuente: Elaboración propia.

Es el bloque más importante dentro del balance de masas y permite ver cómo cambian las entradas y salidas entre los distintos estadios desde el tratamiento primario hasta el tratamiento secundario.

Dicha información se ha utilizado para completar distintos bloques anteriores.

TAMIZADO	Ph	FLUJO VOLUMETRICO (m3/h)	CONCENTRACION (mg/L)			
			DBO	DQO	SS	VCM
ENTRADA	5,75	7,3	-	-	518	-
SALIDA	5,75	7,3	-	-	510,23	-
RESIDUOS	5,75	7,2197	-	-	7,77	-
COLUMNA DE STRIPPING	Ph	FLUJO VOLUMETRICO (m3/h)	CONCENTRACION (mg/L)			
			DBO	DQO	SS	VCM (kg/h)
ENTRADA	5,75	7,3	-	-	-	365
SALIDA	5,75	7,3	-	-	-	36,5
RESIDUOS	5,75	7,2197	-	-	-	328,5
PILETA DE SULFATOS	Ph	FLUJO VOLUMETRICO (m3/h)	CONCENTRACION (mg/L)			
			DBO	DQO	SS	VCM (kg/h)
ENTRADA	5,75	7,3	-	-	510,23	-
SALIDA	5,75	7,3	-	-	102,046	-
RESIDUOS	5,75	7,2197	-	-	408,184	-
REACTOR BIOLOGICO	Ph	FLUJO VOLUMETRICO (m3/h)	CONCENTRACION (mg/L)			
			DBO	DQO	SS	VCM (kg/h)
ENTRADA	7	7,3	150	322	408,184	-
SALIDA	7	7,3	15	48,3	265,3196	-
RESIDUOS	7	7,2197	135	273,7	142,8644	-
SEDIMENTADOR	Ph	FLUJO VOLUMETRICO (m3/h)	CONCENTRACION (mg/L)			
			DBO	DQO	SS	VCM (kg/h)
ENTRADA	7	7,3	-	-	142,8644	-
SALIDA	7	7,3	-	-	14,28644	-
RESIDUOS	7	7,2197	-	-	128,57796	-

TABLA 6.3.5: Distribución de Cargas - Fuente: Elaboración propia.

	Unidades	Valor medio	Valor máximo permisible
T	°C	30	<45
pH	-	7	6,5-10
CE	µS/cm	1091	
SS	mg/L	14,28	<1
DBO5	mg/L O2	15	50
DQO	mg/L O2	48,3	250

TABLA 6.3.5: Valores finales del Efluente /Fuente: Elaboración propia.

6.4 BALANCE DE ENERGÍA

Para el diseño y dimensionamiento eficiente de los equipos involucrados, es necesario realizar un balance de energía. En este proyecto, se aplica principalmente a la torre de stripping y al intercambiador de calor de tipo casco y tubos descritos en el diagrama de flujo. Este análisis permite estimar las necesidades térmicas de operación, optimizar el consumo energético y garantizar un funcionamiento estable. Además, se consideran las condiciones ambientales de Bahía Blanca, cuya temperatura media oscila entre aproximadamente 10 °C en invierno y 23 °C en verano, lo que permite adoptar una temperatura promedio anual de 16,5 °C como referencia para los cálculos energéticos.

6.4.1. REQUERIMIENTOS TÉRMICOS

A continuación, se detallan las variables para determinar la demanda térmica.

DEMANDA TÉRMICA - PARÁMETROS		
Parámetro	Unidad	Valor
Tefluente	°C	65
Tambiente	°C	0
Cp efluente	kJ/kg °C	4,18
Caudal másico efluente	kg/h	7300

Tabla 6.4.1: Parámetros de la demanda térmica /Fuente: Elaboración propia.

Si bien el calor específico de cada sustancia depende de su composición se supone que el calor específico del efluente es similar al del agua, con fines de diseño.

$$q = 7300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (65 - 0)^\circ\text{C} = 1,98 \times 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{h } ^\circ\text{C}}$$

CAPÍTULO VII – INGENIERÍA DE DETALLE

7.1 INGENIERÍA DE DETALLE

En el presente capítulo se presenta un análisis detallado del equipamiento requerido en cada una de las etapas del proyecto descritas previamente, con el objetivo de implementar de manera efectiva el tratamiento propuesto.

7.2 ANÁLISIS DE DETALLE

A continuación se presenta una tabla que resume los equipos utilizados, junto con su nombre y la función que cumplen dentro del proceso de producción. Se identifican como equipos auxiliares aquellos que apoyan el tratamiento de efluentes, tales como bombas, cañerías, válvulas, entre otros.

ETAPA	ESPECIFICACIÓN	TIPO DE EQUIPO	FUNCIÓN
Pretratamiento	TE1	Tamiz estático de malla	Retener sólidos gruesos del efluente de entrada
	TA1	Tanque de almacenamiento	Acumular temporalmente el efluente a tratar
	IC1	Intercambiador de calor	Ajustar la temperatura del efluente antes del stripping
Tratamiento primario	CO1	Columna de stripping	Eliminar compuestos volátiles como VCM residual
	PS1	Pileta de sulfatos	Coagular SS
	NE1	Neutralizador	Ajustar el pH con NaOH y dosificar floculante
Tratamiento secundario	RB1	Reactor biológico aeróbico	Degradar la materia orgánica con fangos activos
	SE1	Sedimentador	Separar sólidos biológicos (barros) del agua tratada
Auxiliares	TD1	Tornillo Deshidratador	Disminuir la concentración de agua de los lodos
	PL1	Parcela de Lodos	Acondicionamiento de Lodos
	DF1	Pileta de disposición final	Almacenar el efluente tratado antes de su descarga
Otros	-	Válvulas, bombas, tuberías	Transporte y control del flujo en el sistema

TABLA 7.2: Equipos Utilizados /Fuente: Elaboración propia.

7.3 PRETRATAMIENTO - DISEÑO DE EQUIPOS

7.3.1. TAMIZ ESTÁTICO

Para la selección del tamiz se deben tener en cuenta principalmente los siguientes parámetros:

PARÁMETROS DE DISEÑO - TAMIZ ESTÁTICO		
Parámetros		Valor
Qd (m ³ /h)	Caudal volmétrico	7,3
tp (μm)	Tamaño de partícula	<0,45

TABLA 7.3.1: Parámetros de diseño para el tamiz estático /Fuente: Elaboración propia.

La empresa “Aquaenergy Soluciones Técnicas”, ofrece una variedad de equipos de estas características, entre los que se ha seleccionado el modelo TES-12-600 ya que es el que más se ajusta a los parámetros fijados.

Si bien este modelo está dimensionado para un caudal mayor, el tamaño de la malla permite la retención de las partículas que el efluente posee, por lo que lo hace aplicable para este caso.

MODELO	CAUDALES (m ³ /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

TABLA 7.3.1: Modelo de tamices estáticos /Fuente: Aquaenergy Soluciones Técnicas.

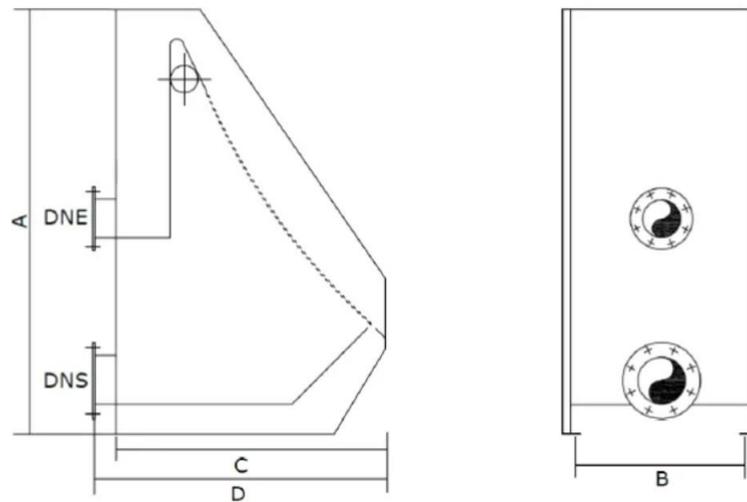


ILUSTRACIÓN 7.3.1: Planos del tamiz estático TES-12-600 / Fuente: Aquaenergy Soluciones Técnicas.

En la tabla siguiente se muestran las características del modelo elegido:

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

TABLA 7.3.1: Dimensiones de tamices estáticos /Fuente: Aquaenergy Soluciones Técnicas.

El mismo posee un valor de 5335 USD.

7.3.2. PULMÓN DE ALMACENAMIENTO

Para el diseño se considerarán los siguientes parámetros:

PARÁMETROS DE DISEÑO - PULMÓN DE ALMACENAMIENTO			
	Parámetro	Rango típico	Valor
Qd (m3/h)	Caudal volumétrico diario		7,3
tp (días)	Periodo máximo de contingencias		3
h (m)	Altura del pulmón	3 a 6	3
L/l	Relación largo/ancho en la superficie		1,5
b (m)	Ancho de la base		l/2
B (m)	Longitud de la base		L

TABLA 7.3.2: Parámetros de diseño para el pulmón de almacenamiento /Fuente: Elaboración propia.

El volumen total de efluente acumulado es el siguiente:

$$V_{\text{efluente}} = Q * t_p = 7,3 \frac{m^3}{h} * 24 \frac{h}{\text{día}} * 3 \text{ días} = 525,6 m^3$$

La geometría del pulmón será la de un trapecioide invertido. Para determinar este volumen se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{h}{3} * (L * l + B * b + \sqrt{L * l * B * b})$$

PULMÓN DE ALMACENAMIENTO			
Parámetro		Ecuación	Valor
Vp (m^3)	Volumen del pulmón	$V = \frac{h}{3} * (L * l + B * b + \sqrt{L * l * B * b})$	530
Var (m^3)	Volumen de arcilla	Var= Ap * 0,5	152,24
Ap (m^2)	Área del pulmón	Ap= A base + A paredes	304,47
L (m)	Longitud en la superficie	L= 1,5*l	18,54
l (m)	Ancho en la superficie	-	12,36
B (m)	Longitud en la base	B=0,75*L	13,91
b (m)	Ancho en la base	b=0,75*l	9,27

TABLA 7.3.2: Dimensionamiento del pulmón de almacenamiento /Fuente: Elaboración propia.

La base del pulmón será realizada con arcilla y por encima recubierta con una membrana de HDPE.

Recubrimiento de la base con arcilla

- Volumen necesario de arcilla: 152, 24 m3
- Precio estimado por m3 de arcilla: \$3.000 ARS
- Costo total en pesos: \$ 456.720 ARS
- **Costo total en dólares: 380,60 USD**

Colocación de membrana HDPE sobre la base

- Área de la base a cubrir: 128,95 m2
- Precio estimado por m2 de geomembrana HDPE (500 micrones): \$3.300 ARS
- Costo total en pesos: \$425.535 ARS
- **Costo total en dólares: 354,61 USD**

Costo del equipo 1500 USD.

7.3.3. INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS

El presente diseño corresponde a un intercambiador de calor de carcasa y tubos, cuya finalidad es elevar la temperatura del efluente líquido proveniente del tanque de almacenamiento. Este calentamiento es necesario para mejorar la eficiencia de remoción del cloruro de vinilo monómero en la columna de stripping, siguiente etapa del tratamiento.

Dado que la eficiencia de la torre de stripping está directamente relacionada con la temperatura del líquido de entrada, se requiere que el efluente alcance una temperatura óptima (entre 70 °C y 90 °C). Para ello, se utilizará vapor de agua como fuente de energía térmica en el intercambiador, el cual será configurado para transferir calor al efluente antes de su ingreso a la columna.

El diseño térmico se ha desarrollado considerando un coeficiente global de transferencia de calor U en el rango de 1,2 - 4 kW/m²·K, valor técnicamente justificado para un efluente acuoso con bajo a moderado ensuciamiento, provisto de la bibliografía consultada.

CALENTADORES		
Fluido caliente	Fluido frío	U (J/s m ² K)
Vapor	agua	1500-4000
Vapor	aceites livianos	250-800
Vapor	aceites pesados	50-450
Vapor	solventes orgánicos	600-1200
Vapor	gases	20-200
Fluidos térmicos	aceites pesados	45-300
Vapor	soluciones acuosas	
	$\mu < 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m s}$	1200-4000
	$\mu > 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m s}$	600-1200

ILUSTRACIÓN 7.3.3: Coeficientes de transferencia de calor típicos - Apéndice 20 /Fuente: Eduardo Cao.

Con estas consideraciones, a continuación, se detallan los parámetros para el diseño:

PARÁMETROS DE DISEÑO - INTERCAMBIADOR CASCO Y TUBOS			
Parámetros		Rango típico	Valor
q (kW)	Demanda térmica		551,74
U (kW/m ² K)	Coeficiente global de intercambio	1,2 - 4	1,2
P (atm)	Presión de trabajo		1
Te (°C)	Temperatura de entrada		65
Ts (°C)	Temperatura de salida		90

TABLA 7.3.3: Parámetros de diseño del intercambiador de calor /Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el área de intercambio, se debe conocer la diferencia media logarítmica de temperaturas:

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{vap} - T_s) - (T_{vap} - T_e)}{\ln \frac{(T_{vap} - T_s)}{(T_{vap} - T_e)}} = 19,96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para la demanda térmica fijada anteriormente y el coeficiente global de intercambio, el área de intercambio será:

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{LM}} = 23,04 \text{ m}^2$$

En base a estos datos, la cantidad de tubos será la siguiente:

$$n_t = \frac{A}{a_t} = \frac{23,04 \text{ m}^2}{0,0254 \text{ m} \cdot \pi \cdot 6 \text{ m}} = 49 \text{ tubos}$$

Para un arreglo en triángulo y dos pasos de tubos por carcasa, el número mínimo de tubos es de 51. Esto implica que el área de intercambio crecerá y el equipo estará sobredimensionado.

El diámetro de carcasas para el arreglo mencionado es de 10" o 254 mm.

Se tomará el modelo WU1010-2 Bell & Gossett Intercambiador de calor de carcasa y tubos, según ofrece el fabricante.

El precio del equipo es de USD 13542.

DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS		
Parámetros	Unidades	Valor
Demanda térmica (q)	kW	551,74
Presión de trabajo	atm	1
Fluido frío - Efluente a tratar		
Coefficiente global de intercambio (U)	kW/m ² K)	1,2
Temperatura de entrada	°C	65
Temperatura de salida	°C	90
Caudal	m ³ /h	7,3
Fluido calefactor - Vapor		
Temperatura	°C	100
Parámetros teóricos de diseño		
Área de intercambio	m ²	23,04
N° tubos		49
Arreglo: triangular		
Pasos de tubos por carcasa		2
N° tubos real		51
Diámetro de carcasa	mm	254
Modelo de fabricante: WU1010-2 Bell & Gossett		

TABLA 7.3.3: Parámetros finales para el Intercambiador de calor de casco y tubos /Fuente: Elaboración propia.

7.4 TRATAMIENTO PRIMARIO - DISEÑO DE EQUIPOS

7.4.1 COLUMNA DE STRIPPING

En el capítulo anterior se determinó el caudal teórico mínimo de vapor necesario para lograr la desorción del cloruro de vinilo monómero (VCM) presente en el efluente acuoso. Este valor se obtuvo a partir del equilibrio líquido-vapor, utilizando la ley de Henry y considerando una remoción del 90 % del contaminante.

No obstante, este caudal teórico —aunque útil como punto de partida— no permite un diseño industrial viable, ya que resulta en velocidades de gas muy bajas y diámetros de torre reducidos, incompatibles con empaques comerciales y condiciones operativas estándar.

Además, no considera las limitaciones hidráulicas, la distribución adecuada del flujo, ni los márgenes de seguridad necesarios para la operación continua.

Por lo tanto, en este capítulo se procede a reformular el caudal de vapor requerido, basándose en criterios hidráulicos reales. Esto permite obtener un diseño de torre con dimensiones operativamente válidas, garantizando además una buena transferencia de masa y un funcionamiento estable a escala industrial.

ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE VAPOR

A continuación se presenta una propuesta de valores en función de una velocidad realista del mismo, de modo que se obtenga un diámetro mínimo aceptable:

PROPUESTA DE VALORES			
Parámetro	Unidades	Rango	Valor
Diámetro mínimo	m	0,7-0,8	0,76
Velocidad superficial	m/s		1,5
Area transversal	m ²		0,451

TABLA 7.4.1: Propuesta de valores para el diseño de la torre de stripping /Fuente: Elaboración propia.

- Caudal volumétrico: $C_{VG} = v_s * A = 1,5 \text{ m/s} * 0,451 \text{ m}^2 = 0,676 \text{ m}^3/\text{s} = 2433 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal másico: $C_{mG} = C_{VG} * \rho = 1460 \text{ kg/h}$
- Relación: $L/G = 5$
- Constante de reparto: 1,3

DEFINICIÓN DE NTU

La NTU (Número de Unidades de Transferencia) representa la dificultad de la operación de separación (a mayor remoción deseada, mayor NTU).

Para stripping de un solo componente con gas puro:

$$NTU = \frac{1}{L/G} * \ln\left(\frac{x_1 - my_2}{x_2 - my_2}\right)$$

Donde:

- $x_1 = 0,05$
- $x_2 = 0,005$
- $y_2 = 0$
- $m = 1,3$
- $L/G = 5$

Por lo tanto:

$$NTU = 0,46$$

Este valor es muy bajo, por lo que se adopta un NTU típico de diseño, $NTU = 5$, recomendado por bibliografía para lograr una eficiencia razonable.

ESTIMACIÓN DE HTU

La HTU (Altura de una Unidad de Transferencia) depende del tipo de empaque y propiedades del sistema. Para vapor y soluciones acuosas con orgánicos volátiles, a presión atmosférica y con empaques estructurados, se estima:

$$HTU = \frac{G}{a \cdot k_G}$$

Donde:

- G : flujo másico de vapor ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)
- a : área específica del empaque (m^2/m^3)
- k_G : coeficiente de transferencia de masa en fase gaseosa ($\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{atm}$)

Si se elige un empaque estructurado de alta eficiencia (por ejemplo, Mellapak 250Y):

- $a \approx 25 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- $k_G \approx 70 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{atm}$

Reemplazando:

$$HTU = 0,83$$

ALTURA DE LA TORRE

$$Z = HTU * NTU = 4,15 \text{ m}$$

CONCLUSIÓN

Después de analizar distintos criterios (equilibrio, hidráulicos y dimensionamiento industrial), se estableció que la mejor configuración para la torre de stripping es una torre vertical, empacada con material estructurado. Este tipo maximiza la eficiencia de transferencia y minimiza el caudal de vapor por unidad de altura, logra un contacto eficaz entre líquido y vapor, gracias al empaque estructurado. Además, las dimensiones obtenidas facilitan su fabricación, instalación y mantenimiento.

Respecto a los materiales del empaque estructurado, se presentan las siguientes opciones:

- Metal corrugado (Intalox / 250 Y)

Empaque metálico corrugado tipo 250Y; ideal para diámetros entre 0,6 y 1 m.

Precio estimado: Aproximadamente US\$ 660–767/ m^3 .

Para una torre de 0,76 m x 3 m → volumen $\approx 1,32 \text{ m}^3$, costo entre US\$ 870 a 1 000.

- Empaque cerámico corrugado

Variante cerámica tipo 250Y-350Y, más resistente químicamente

Precio estimado: US\$ 300–600/m³ según volumen.

Se elige el empaque cerámico corrugado, el cual tendrá un costo total de 594 USD.

DISEÑO DE LA TORRE DE STRIPPING		
Efluente a tratar		
Parámetros	Unidades	Valor
Caudal volumétrico	m ³ /h	7,3
Densidad	kg/m ³	1000
Caudal másico	kg/h	7300
Porcentaje de remoción deseado de VCM	%	90
Caudal másico de VCM de entrada	kg/h	365
coeficiente de reparto		1,3
Vapor de agua		
Parámetro	Unidades	Valor
caudal	kg/h	1460
velocidad superficial	m/s	1,5
L/G		5
Características de la torre		
Parámetro	Unidades	Valor
Diámetro	m	0,76
Área		0,451
NTU		5
HTU		0,83
Z	m	4,15

TABLA 7.4.1: Diseño de la torre de stripping /Fuente: Elaboración propia.

El precio total de la torre será de **52094 USD**.

7.4.2 PILETA DE SULFATOS - PILETA DE COAGULACIÓN

La pileta de sulfatos es una unidad fundamental en los procesos de tratamiento físico-químico, cuya función principal es la remoción de sólidos coloidales y materia en suspensión mediante la adición de un coagulante químico, típicamente sulfato de aluminio. Este reactivo neutraliza las cargas eléctricas de las partículas coloidales presentes en el efluente, favoreciendo su desestabilización y posterior aglomeración en microfloculos.

Para asegurar una dispersión rápida y homogénea del coagulante, el diseño de la pileta incluye un sistema de agitación mecánica, generando un gradiente de velocidad adecuado que promueve el contacto eficiente entre el reactivo y las partículas a remover. Esta etapa se caracteriza por tiempos de retención cortos y una geometría que permite un mezclado eficaz sin dar lugar a sedimentación ni formación prematura de flóculos.

El diseño de la pileta debe garantizar el volumen necesario para el tiempo de retención requerido, un sistema de agitación dimensionado según la potencia y velocidad adecuadas, y

materiales compatibles con el reactivo empleado. Esta unidad es clave para optimizar el rendimiento de las etapas posteriores, mejorando significativamente la eficiencia global del tratamiento.

A continuación se presentan los parámetros iniciales para el diseño:

PILETA DE SULFATOS (PS) - PARÁMETROS INICIALES			
Parámetro	Unidad	Rango	Valor
Tiempo de retención hidráulico (θ_r)	min	>8	10
Caudal volumétrico	m ³ /h		7,3
Dosis de coagulante	mg/L		50
Concentración comercial del coagulante	% p/p		8
Masa total requerida de coagulante	kg/h		4,56

TABLA 7.4.2: Parámetros iniciales para el diseño de la Pileta de sulfatos /Fuente: Elaboración propia.

En base a estos parámetros base, se plantea el siguiente diseño teórico para un tanque circular, debido a que permite un mayor contacto entre el coagulante y las partículas, y previene la formación de zonas estancas:

$$\theta_r = 10 \text{ min} = 0,167 \text{ h}$$

$$Vol_{PS} = 7,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,167 \text{ h} = 1,22 \text{ m}^3 \approx 2 \text{ m}^3$$

Adoptando una altura $H = 1,42 \text{ m}$

$$Vol_{PS} = \pi \cdot r^2 \cdot H = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h \rightarrow D = \sqrt{\frac{Vol_{PS} \cdot 2}{\pi \cdot h}} = 0,95 \text{ m} \rightarrow D = 1 \text{ m}$$

DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

Para el diseño del sistema de agitación, se continúa con la siguiente secuencia de cálculo:

1- Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad (G), también llamado intensidad de mezcla, es un parámetro que cuantifica la tasa de deformación del fluido generada por la agitación mecánica. En otras palabras, mide cuán rápido se mezclan las partículas en el agua debido a la agitación. En este contexto, es necesario un gradiente que permita el contacto rápido y homogéneo del coagulante con todo el volumen del fluido, sin llegar a romper los flóculos formados después.

Se calcula como:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot Vol_{PS}}}$$

Donde:

P: potencia de agitación (W)

μ : viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

Vol_{PS} : volumen de la pileta de sulfatos (m³)

Para determinar el valor de G, se toma el promedio del siguiente relevamiento bibliográfico

Valores típicos de G - Relevamiento bibliográfico			
Bibliografía	Unidad	Rango	Valor
[1]	s ⁻¹	600-1000	800
[2]	s ⁻¹	700-1000	850
[3]	s ⁻¹	600-800	700

TABLA 7.4.2: Valores típicos de G /Fuente: Elaboración propia.

[1] Metcalf & Eddy (5.ª ed., 2014) – Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery

[2] Crites & Tchobanoglous (1998) – Small and Decentralized Wastewater Management Systems

[3] FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

Por lo tanto, se tomará un promedio de las tres bibliografías consultadas:

$$G = 785 \text{ s}^{-1}$$

2- Potencia de agitación

Para determinar la potencia de agitación se utilizará el valor del gradiente de velocidad promediado anteriormente y su respectiva fórmula:

$$P = G^2 * \mu * Vol_{PS}$$

$$P = (785 \text{ s}^{-1})^2 * 0,002 \text{ Pa.s} * 2 \text{ m}^3 = 2465 \text{ W}$$

3- Tipo de agitador

Para la elección del tipo de agitador se presentan las siguientes opciones las cuales han sido seleccionadas de acuerdo a las características del fluido y objetivo del equipo en cuestión:

TIPOS DE AGITADORES - PILETA DE SULFATOS		
Características	Turbina de Flujo radial	Turbina de Flujo axial
Dirección de flujo	perpendicular al eje del impulsor	paralela al eje del impulsor
Tipo de mezcla	alta cizalla, mezcla intensa	movimiento suave, flujo global
Requerimiento de mayor potencia	mayor	menor
Riesgos de romper flóculos	mayor, por la resistencia al fluido	menor
Nº típico de palas	6	2 a 4
Tipo de pala	Rushton	Hélice
Instalación	centro del tanque	centro, con cierta inclinación

TABLA 7.4.2: Tipos de agitadores /Fuente: Elaboración propia.

En base a las características presentadas, se elige el agitador de tipo turbina de flujo radial, ya que, si bien posee mayor riesgo de una posible ruptura de flóculos, el fluido requiere menor tiempo en el tanque debido a que su mezcla es elevada.

El diámetro del impulsor se calcula según:

$$D_T \approx \frac{1}{3} D_{PS}$$

$$D_T \approx 0,33 m$$

4- Velocidad de rotación del impulsor (N)

El impulsor es el componente principal del sistema de agitación mecánica encargado de transmitir la energía del motor al líquido. Está compuesto por un conjunto de paletas o aspas conectadas a un eje, y su rotación genera un flujo de fluido que permite mezclar eficientemente los reactivos agregados con el efluente a tratar.

En la etapa de coagulación, el impulsor debe generar una agitación intensa y uniforme que favorezca la dispersión rápida del coagulante (por ejemplo, sulfato de aluminio), desestabilizando las partículas coloidales presentes sin llegar a romper los microflóculos incipientes.

Mediante la siguiente fórmula y con el valor de la potencia ya calculado, se puede determinar la velocidad de rotación:

$$P = N_P * \rho * N^3 * D_T^5$$

Donde:

$$P = \text{Potencia [W]} = 2465 \text{ W}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D_T = 0,33m$$

$$N_P \approx 5 \text{ para una turbina radial tipo Rushton}$$

Despejando N:

$$N = \left(\frac{P}{N_P * \rho * D_T^5} \right)^{1/3}$$

$$N \approx 300 \text{ rpm}$$

La velocidad de agitación recomendada se encuentra dentro de un rango de 300-350 rpm.

Finalmente, se detallan a continuación los parámetros y dimensiones de la Pileta de sulfatos:

DISEÑO DE LA PILETA DE SULFATOS		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	m ³ /h	7,3
Tiempo de retención	min	10
Diámetro	m	1
Altura	m	1,42
Relación altura/diámetro	-	1,42
Volumen	m ³	2
Gradiente de velocidad	s ⁻¹	785
Potencia de agitación	W	2465
Tipo de agitador: Turbina de flujo radial		
Tipo de pala: Rushton		
Diámetro del impulsor	m	0,33
Velocidad de rotación del impulsor	rpm	300

TABLA 7.4.2: Parámetros finales para la Pileta de sulfatos /Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta una estimación de los costos totales del equipo:

ESTIMACIÓN DE COSTOS - PILETA DE SULFATOS			
Componente	Especificación	Rango de costos estimado (USD)	Valor (USD)
Tanque de mezcla	2 m ³ , acero inoxidable AISI 304	10000-14000	12.000
Agitador completo	Motor eléctrico 3 HP con reductor, eje e impulsor Rushton	3.500-6.500	5.000
TOTAL			17.000

TABLA 7.4.2: Costos totales para el Pileta de sulfatos /Fuente: Elaboración propia.

7.4.3 NEUTRALIZADOR

En la presente sección se desarrolla el diseño de un tanque de floculación que cumple un rol central en el tratamiento primario. El objetivo principal de este tanque es facilitar tres procesos fundamentales:

- La floculación, mediante la adición del polímero Lipesa 1569-A.
- La neutralización del pH, a través de la dosificación controlada de hidróxido de sodio (NaOH).
- La desinfección, mediante la incorporación de hipoclorito de sodio (NaClO), previa al tratamiento biológico.

La floculación es un proceso en el cual partículas coloidales e impurezas presentes en el efluente se agrupan para formar flóculos de mayor tamaño, favoreciendo su sedimentación o remoción posterior. Este proceso es facilitado por agentes floculantes, en este caso un polímero de alta eficacia como Lipesa 1569-A. Es importante distinguir este proceso de la coagulación, que es una etapa previa donde se neutralizan las cargas superficiales de las partículas finas, lo que permite que los floculantes actúen de manera más eficiente.

Simultáneamente, se ajusta el pH del efluente, utilizando hidróxido de sodio. Este ajuste es necesario para optimizar tanto la eficiencia del floculante como la actividad microbiana del proceso biológico siguiente.

Por último, se incorpora hipoclorito de sodio (NaClO) como agente desinfectante, con el fin de reducir la carga microbiológica del efluente previo a su ingreso al tratamiento secundario (reactor biológico), garantizando un entorno más controlado para el crecimiento de los microorganismos beneficiosos.

Respecto al diseño, se tendrán en cuenta consideraciones similares al equipo anterior. Sin embargo, el tiempo de residencia en este será mayor debido a que se deben agregar los reactivos anteriormente mencionados. A continuación se detallan los rangos determinados por distintas bibliografías para obtener un tiempo de residencia medio:

VALORES TÍPICOS DE θ_r - RELEVAMIENTO BIBLIOGRÁFICO				
Bibliografía	Unidad	Floculación	Neutralización	Desinfección
[1]	min	20	5	20
[2]	min	10		15
[3]	min	20	5	25
[4]	min	15		20
[5]	min	17,5	5	25
Valor medio	min	16,5	5	21
TIEMPO TOTAL	min	42,5		

TABLA 7.4.3: Estimación del tiempo de residencia para el Neutralizador /Fuente: Elaboración propia.

[1] Metcalf & Eddy (2014) - Wastewater Engineering

[2] EPA (2000) - Wastewater Technology Fact Sheet: Chemical Addition

[3] Qasim, S.R. (1999) - Wastewater Treatment Plants

[4] Cheremisinoff, N.P. (2002) - Handbook of Water and Wastewater Treatment

[5] Ministerio de Ambiente de Argentina (2015) - Manual de buenas prácticas

Por lo tanto:

$$\theta_r = 42,5 \text{ min} \approx 43 \text{ min} = 0,72 \text{ h}$$

$$Vol_N = 7,3 \frac{m^3}{h} \cdot 0,72 \text{ h} = 5,256 \text{ m}^3 \approx 6 \text{ m}^3$$

Adoptando una altura $H = 1,5 \text{ m}$

$$Vol_N = \pi \cdot r^2 \cdot H = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h \rightarrow D = \sqrt{\frac{Vol_N \cdot 2}{\pi \cdot h}} = 1,6 \text{ m}$$

A continuación, se detallan las condiciones iniciales del tanque:

DISEÑO DEL TANQUE NEUTRALIZADOR - PARÁMETROS INICIALES		
Parámetros	Unidad	Valor
Caudal a tratar	m ³ /h	7,3
Suministro de reactivos - Dosis		
Hidróxido de sodio	g/h	291,7
Lipesa 1569 - A	g/h	8,1
Hipoclorito de sodio	m ³ /h	0,73

TABLA 7.4.3: Condiciones iniciales del Neutralizador /Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

Al igual que para el diseño de la Pileta de sulfatos, se continúa con la siguiente secuencia de cálculo, al igual que para el diseño de la Pileta de sulfatos

1- Gradiente de velocidad (G)

GRADIENTE DE VELOCIDAD - RELEVAMIENTO BIBLIOGRÁFICO			
Bibliografía	Unidad	Rango recomendado	Valor
[1]	s ⁻¹	20-80	50
[2]	s ⁻¹	30-60	45
[3]	s ⁻¹	10-75	42,5
[4]	s ⁻¹	20-40	30
VALOR MEDIO	s ⁻¹		41,88

TABLA 7.4.3: Relevamiento bibliográfico para determinar el valor medio de G /Fuente: Elaboración propia.

[1] Metcalf & Eddy (2014)

[2] Qasim et al. (2000)

[3] Tchobanoglous et al. (2003)

[4] EPA (1999) - Water Treatment Manual

La agitación debe ser considerablemente más baja, comparada con la coagulación, ya que el objetivo principal es favorecer el contacto y la unión de las partículas ya coaguladas en flóculos de mayor tamaño.

Una agitación elevada en esta etapa rompería los flóculos formados, disminuyendo la eficiencia del proceso. Por lo que se utilizarán gradientes de velocidad más bajos y agitadores suaves que permitan mantener los flóculos suspendidos sin desintegrarlos.

2- Potencia de agitación

Para determinar la potencia de agitación se utilizará el valor del gradiente de velocidad promediado anteriormente y su respectiva fórmula:

$$P = G^2 * \mu * Vol_N$$

$$P = (41,88 \text{ s}^{-1})^2 * 0,002 \text{ Pa} \cdot \text{s} * 6 \text{ m}^3 = 21,05 \text{ W}$$

3- Tipo de agitador

Para la elección del tipo de agitador se presentan las siguientes opciones las cuales han sido seleccionadas de acuerdo a las características del fluido y objetivo del equipo en cuestión:

TIPOS DE AGITADORES - NEUTRALIZADOR		
Características	Agitador de pala de ancla	Turbina axial de flujo lento
Tipo de flujo generado	Flujo radial	Flujo axial
Velocidad de operación (N)	20-60 rpm	40-150 rpm
Gradiente de velocidad (G)	Bajo (20-60 s ⁻¹)	Bajo a medio (30-80 s ⁻¹)
Potencia requerida	muy baja (0,1-0,5 kW)	Baja (0,2-0,8 kW)
Ventajas	Bajo esfuerzo de corte Ideal para evitar ruptura de flóculos	Mejor circulación Menor requerimiento energético
Desventajas	Menor eficiencia en tanques altos	Puede generar mayor esfuerzo de corte

TABLA 7.4.3: Tipos de agitadores /Fuente: Elaboración propia.

En base a las características presentadas, se elige el agitador de tipo turbina de flujo axial, ya que, si bien posee mayor riesgo de una posible generación de esfuerzos de corte mayores, requiere menor requerimiento energético y tanto el gradiente de velocidad como la potencia requerida, están dentro de los valores determinados para su correcto funcionamiento.

El diámetro del impulsor se calcula según:

$$D_T \approx \frac{1}{3} D_N$$

$$D_T \approx 0,54 \text{ m}$$

4- Velocidad de rotación del impulsor (N)

Mediante la siguiente fórmula y con el valor de la potencia ya calculado, se puede determinar la velocidad de rotación:

$$P = N_p * \rho * N^3 * D_T^5$$

Donde:

$$P = \text{Potencia [W]} = 21,05 \text{ W}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D_T = 0,54 \text{ m}$$

$$N_p \approx 0,3 \text{ para una turbina axial}$$

Despejando N:

$$N = \left(\frac{P}{N_p * \rho * D_T^5} \right)^{1/3}$$

$$N \approx 70 \text{ rpm}$$

La velocidad de agitación recomendada se encuentra dentro de un rango de 50-100 rpm.

7.4.3.1 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NaOH

Debido a que el neutralizante a utilizar se encuentra en mayor proporción respecto del resto de los reactivos agregados en el neutralizador, se decide diseñar un tanque de almacenamiento para el mismo.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE NaOH		
Parámetros	Unidad	Valor
Consumo diario	kg/día	7
Densidad	kg/m ³	2130
Tiempo de autonomía	días	30

TABLA 7.4.3.1: Condiciones iniciales para el diseño del tanque de almacenamiento de NaOH /Fuente: Elaboración propia.

$$Vol_{T NaOH} = \frac{7 \text{ kg/día}}{2130 \text{ kg/m}^3} * 30 \text{ días} = 0,0987 \text{ m}^3 \approx 0,1 \text{ m}^3$$

Se propone un tanque de 100L de HDPE para el almacenamiento del neutralizante.

Por último, se presentan las condiciones finales para el diseño del Neutralizador y los costos estimativos que el mismo implica:

DISEÑO DEL NEUTRALIZADOR		
Parámetro	Unidad	Valor
Caudal	m ³ /h	7,3
Tiempo de residencia	min	43
Volumen	m ³	6
Diámetro	m	1,6
Altura	m	1,5
Suministro de reactivos - Dosis		
Hidróxido de sodio	g/h	291,7
Lipasa 1569-A	g/h	8,1
Hipoclorito de sodio	m ³ /h	0,73
Sistema de agitación		
Tipo de agitador		turbina axial de flujo lento
Potencia teórica requerida	W	21,05
Diámetro del impulsor	m	0,54
Velocidad de rotación del impulsor	rpm	70
Volumen del tanque de almacenamiento de NaOH	m ³	0,1

TABLA 7.4.3.1: Parámetros finales para el Neutralizador /Fuente: Elaboración propia.

ESTIMACIÓN DE COSTOS - NEUTRALIZADOR			
Componente	Especificación	Valor (USD)	Observaciones
Tanque de Neutralizador	Acero inoxidable AISI 304, cilíndrico	6350	Incluye construcción y bocas de acceso
Agitador de turbina axial de flujo lento	Eje + motorreductor + sistema de sellado	1700	Incluye impulsor axial. Potencia: 0,75-1,5 kW
Tanque de almacenamiento de NaOH	HDPE, con tapa y válvula	70	Incluye base metálica o soporte
TOTAL		8120	

TABLA 7.4.3.1: Estimación de costos para el Neutralizador /Fuente: Elaboración propia.

7.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO - DISEÑO DE EQUIPOS

7.5.1 REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO

Las características del diseño del reactor aerobio de lodos activados requieren primero de la selección de los parámetros de diseño.

PARAMETROS DE DISEÑO- REACTOR BIOLÓGICO			
Parámetros		Rango Típico	Valor
QE (m ³ /h)	Caudal de Entrada	-	7,3
CM (kg DQO/ kg SSLVM.d)	Carga Masica	0,2 - 0,6	0,6
So (mg DQO/L)	Concentración de DQO de entrada	-	322
E (%)	Rendimiento de Eliminación	70 -90%	85%
X (mg SSVLM/L)	Conc. SSVLM en el reactor	2500 -4000	3000
Y (kg SSLVM/ kg DQO eliminada)	Rendimiento celular	0,3 -0,5	0,4
H (m)	Altura del Reactor	-	4
e (%)	Rendimiento de Aireadores	20-35	30
ρA (kg/m ³)	Densidad del Aire	-	1,2

TABLA 7.5.1: Parámetros de diseño del Reactor Biológico /Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el volumen efectivo del reactor haciendo uso de la siguiente expresión:

$$VE = \frac{QE * So}{X * CM} * 24 =$$

$$\frac{7,3 \frac{m^3}{h} * 322 \frac{mg}{L}}{3000 \frac{mg SSV}{L} * 0,4 \frac{kg DQO}{kg SSLVM}} * 24 = 47 m^3$$

Se calcula el ancho y largo del reactor, bajo la premisa de que su geometría es igual a la de un prisma:

$$VE = H * L * W ; L = 2 * W$$

$$W = \sqrt{\frac{VE}{2 * H}} = \sqrt{\frac{47 m^3}{2 * 4 m}} = 2,43 m$$

$$L = 2 * W = 4,84 m$$

Se calcula la carga volumétrica del digestor, o cantidad de materia orgánica que se introduce al reactor por unidad de volumen y tiempo, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$CV = \frac{QF \cdot S_0}{VE}$$

$$\frac{7,3 \frac{m^3}{h} \cdot 322 \frac{mg}{L}}{47 m^3} * \frac{24}{1000} = 1,20 \frac{kg DQO}{m^3 \cdot dia}$$

Entendemos que para digestores aerobios de mezcla completa este valor es aceptable ya que normalmente este parámetro se encuentra entre 0,80 y 1,92.

Se toma el valor de concentración de DQO del efluente según lo que indica la tabla del balance de masas.

$$S = 48,3 \frac{mg}{L}$$

La demanda de Oxígeno (Ro) anteriormente calculada en Kg O2/día, considerando una densidad del aire de 1,2 kg/m³ y una eficiencia de los aireadores del 30%, será contenida en un volumen de:

$$R_{aire} = \frac{100}{21 \cdot \rho_{aire}} * R_o$$

$$R_{aire} = \frac{100}{21 * 1,2 \frac{kg}{m^3} * 0,3} * 20,69 \frac{kg O_2}{dia} = 273,7 \frac{m^3}{dia}$$

La potencia del proceso de aireación se calcula como:

$$P_{aireacion} = \frac{R_{aire} * \Delta p}{\eta_{compresor}}$$

La presión de compresión será levemente superior a la atmosférica, tomaremos 1,6 bar absolutos y la eficiencia del equipo de compresión se tomará de 0,75. Así tendremos:

$$\frac{11,40 \frac{m^3}{h} * 0,6 bar}{0,75} * 3600 \frac{s}{h} \approx 33 kW/h$$

Optamos por el uso de aireadores superficiales, debido a que la planta de tratamiento diseñada es de mediano tamaño, no trata grandes cantidades de efluentes. Las características generales de estos equipos se presentan a continuación:

- Potencia: 3–7.5 kW
- Requerimiento de O₂: 1.5 – 2.0 kg O₂/kWh.
- Plantas Pequeñas o Medianas.

Cantidad de aireadores necesarios, según la potencia total de aireación requerida y la potencia unitaria de los aireadores disponibles:

$$N^{\circ} aireadores = \frac{33 \frac{kW}{h}}{4 \frac{kW}{unidad}} = 8,25 unidades \approx 9 unidades$$

$$N^{\circ} aireadores = \frac{P_{total}}{P_{unidad}}$$

La distribución de los aireadores será en forma de rejilla 3x3 así, nos aseguraremos una cobertura completa del área y una homogénea distribución del oxígeno.

Los aireadores superficiales escogidos son de 4kw de la Marca KASCO.

El costo total de los aireadores es de USD 4300.

Se calcula el tiempo de retención hidráulico (TRH) o tiempo promedio que el agua o los líquidos permanecen en el reactor, haciendo uso de:

$$TRH = \frac{VE}{QE} \approx 6,5 h$$

Se calcula el tiempo de retención celular:

$$TRC = \frac{VE \cdot X}{P_X \cdot 1000} \approx 194 h \approx 8,08 \text{ días}$$

El sistema cumple con mantener a los microorganismos durante más tiempo del que tarda el líquido en pasar por el reactor.

El fabricante [RAE1] ofrece equipos a medida.

El precio del reactor es de USD 5000

PARAMETROS DEL REACTOR BIOLÓGICO			
	Parametros	Formula	Valor
VE (m3)	Volumen Efectivo	$\frac{Q_D \cdot S_0 \cdot 24}{X \cdot CM}$	47
W (m)	Ancho del Reactor	$\sqrt{V/2 \cdot H}$	2,43
L (m)	Largo del Reactor	$2 \cdot W$	4,84
CV (kg DQO/ m3-d)	Carga Volumetrica	$\frac{Q_D \cdot S_0 \cdot 24}{V_R \cdot 1000}$	1,2
S (mg/L)	Concentracion de DQO a la salida	$S_0 \cdot \left(1 - \frac{E}{100}\right)$	48,3
Px (kg/dia)	Produccion de Lodos Diaria	$Y \cdot Q_D \cdot (S_0 - S) \cdot \frac{24}{1000}$	19,2
Ro (kg O2/dia)	Necesidad Diaria de Oxigeno	$Q_D \cdot (S_0 - S) \cdot \frac{24}{1000} - 1,42 \cdot P_x$	20,69
Ra(m3 aire/ dia)	Necesidad Diaria de Aire	$\frac{100}{21 \cdot \rho_{aire} \cdot e} \cdot R_o$	273,7
Nºa (unidades)	Numero de Aireadores	$N^\circ \text{aireadores} = \frac{P_{total}}{P_{unidad}}$	9
P aireacion (Kw/H)	Potencia de Aireacion	$P_{aireacion} = \frac{R_{aire} \cdot \Delta P}{\eta_{compresor}}$	33
TRC (dias)	Tiempo de Retencion Celular	$\frac{V_R \cdot X}{P_X \cdot 1000}$	8,08

TABLA 7.5.1: Parámetros del Reactor Biológico /Fuente: Elaboración propia.

7.5.2 SEDIMENTADOR

Con el objetivo de definir adecuadamente el diseño del sedimentador, es necesario primero establecer ciertos parámetros clave de diseño.

PARÁMETROS DE DISEÑO			
Parámetros		Rango Típico	Valor
QE (m ³ /h)	Caudal de ingreso	-	7,3
θ	Inclinación de las láminas	45 – 60	60
s (cm)	Separación entre las láminas	5 – 10	8
l (m)	Longitud efectiva de las láminas	1 – 2	1,5
w (m)	Ancho de las placas	-	1
CSH (m ³ /m ² ·d)	Carga superficial hidráulica	60 – 100	70
X (mg SSV/L)	Concentración de SSV en el sedimentador	2000 – 4000	3000
L (m)	Longitud del sedimentador	4 – 8	4
TRH (h)	Tiempo de retención hidráulica	0,5 – 1,5	1

TABLA 7.5.2: Parámetros de Diseño del Sedimentador /Fuente: Elaboración propia.

La superficie proyectada en planta (vista superior) para este tipo de equipos puede determinarse a partir del caudal de diseño y la carga superficial hidráulica, utilizando la siguiente expresión:

$$Ap = \frac{QE}{CSH}$$

$$\frac{7,3 \frac{m^3}{h} * 24h}{70 \frac{m^3}{m^2 \text{ día}}} = 2,50 m^2$$

El área efectiva necesaria considerando la inclinación de las placas se estima mediante:

$$Aef = \frac{Ap}{\cos(\theta)} = \frac{2,50 m^2}{\cos(60^\circ)} = 5,05 m^2$$

A partir de esta área plana, se puede calcular el ancho del sedimentador suponiendo una relación de diseño predefinida con el largo:

$$w = \frac{Ap}{L} = \frac{2,19 m^2}{4 m} = 0,547 m \approx 0,6 m$$

El volumen total del sedimentador se estima con el producto del caudal de diseño y el tiempo de retención hidráulico adoptado:

$$Vs = TRH * QE = 1h * 7,3 \frac{m^3}{h} \approx 7,5 m^3$$

Se podrá determinar la altura promedio del sedimentador a partir de este volumen y las dimensiones proyectadas:

$$H = \frac{Vs}{Ap} = \frac{7,5 m^3}{2,50 m^2} = 3 m$$

La altura total del sedimentador incluye varios componentes característicos:

- Zona de sedimentación propiamente dicha (entre 1,5 y 3 m).
- Espacio destinado a la acumulación de lodos (entre 0,5 y 1 m).
- Sección superior para la recolección del agua clarificada (entre 0,5 y 1 m).

Como resultado, es habitual adoptar alturas totales en un rango de 2,5 a 4 metros. El valor calculado se encuentra dentro de estos márgenes recomendados.

La cantidad de placas inclinadas requeridas puede determinarse utilizando la siguiente relación:

$$N = \frac{A_{ef}}{l * s} = \frac{5,05 m^2}{1,50 m * 0,08 m} \approx 44 \text{ láminas}$$

Se instalarán un total de 43 láminas, organizadas en 4 conjuntos de 11 unidades cada uno.

Un parámetro relevante a verificar es la carga de sólidos aplicada al sedimentador, que debe compararse con valores típicos de operación. Este se calcula mediante:

$$C_s = \frac{QE * X}{A_p} = \frac{7,3 \frac{m^3}{h} * 3000 \text{ SSV/L}}{2,50 m^2} * \frac{24}{1000} = 210,24 \frac{kg \text{ SSV}}{m^2 \cdot dia}$$

En general, estos valores de carga se sitúan entre 100 y 250 kg SSV/m²-día, por lo que el resultado se encuentra dentro del rango aceptable.

La velocidad ascensional del líquido (es decir, la velocidad con la que el agua fluye hacia arriba) se puede expresar como:

$$V_a = \frac{QE}{A_p} = \frac{7,3 \frac{m^3}{h}}{2,50 m^2} = 2,92 \frac{m}{h} = 0,082 \frac{mm}{s}$$

En estos sistemas, esta velocidad suele oscilar entre 1 y 3 mm/s. En este caso, el valor se encuentra levemente por debajo del límite inferior, pero aún se considera aceptable.

A continuación, se detallan las principales características de diseño adoptadas para el sedimentador.

PARAMETROS DEL SEDIMENTADOR		
Parámetros		Valor
W (m)	Ancho del sedimentador	0,6
H (m)	Altura del sedimentador	3
L (m)	Longitud del sedimentador	4
n	Número de láminas	44
w (m)	Ancho de las láminas	1
Vs (m3)	Volumen del sedimentador	7,5
Va (mm/s)	Velocidad ascensional del agua	0,082

TABLA 7.5.2: Parámetros del Sedimentador /Fuente: Elaboración propia.

El fabricante [US1] ofrece el modelo Lamella Clarifier for Water Treatment Plant River Reuse of Cleaning.

El precio del equipo es de USD 3170.

7.5.3 TORNILLO DESHIDRATADOR

Con el objetivo de reducir el volumen de lodos generados en el tratamiento biológico antes de su disposición en las parcelas de secado, se incorporará un equipo de deshidratación mecánica tipo tornillo deshidratador. Esta tecnología resulta adecuada debido al bajo caudal de lodos generado en la planta (19,2 kg/h), permitiendo una operación eficiente, automática y de bajo consumo energético. Se selecciona este tipo de equipo por su compacidad, facilidad de operación y mantenimiento, y porque permite alcanzar contenidos de sólidos en el lodo del 88

orden del 15 al 25%, lo cual disminuye significativamente el volumen de lodo a manejar en la etapa de secado.

Como referencia tecnológica se considera el modelo Volute AMCON ES-101, diseñado para pequeños caudales y ampliamente utilizado en plantas de tratamiento de similar escala.

PARAMETROS TORNILLO DESHIDRATADOR	
Parametros	Valor
Modelo	Volute AMCON ES-101
Caudal	hasta 0,5 m ³ /h de lodo
Sequedad	20-25%

TABLA 7.5.3: Parámetros Tornillo Deshidratador /Fuente: Elaboración propia.

Los lodos ingresan a este equipo con un 75% de humedad, lo que equivale a un 25% de sólidos totales. Tras el proceso, se espera obtener lodos con una humedad del 50% (50% de sólidos totales), mejorando así su manejabilidad para su posterior disposición en parcelas de secado.

La cantidad de lodos que ingresa al equipo es de 19,2 kg/h, por lo tanto:

Masa de Sólidos Totales: $Sólidos = 19,2 \frac{kg}{h} * 0,25 = 4,8 \frac{kg}{h}$

Masa Final de Lodos (50%): $Ml = \frac{4,8 \frac{kg}{h}}{0,50} = 9,6 \frac{kg}{h}$

Masa de Agua Retirada, que irá a recirculación:

$$Ma = 19,2 \frac{kg}{h} - 9,6 \frac{kg}{h} = 9,6 \frac{kg}{h} = 0,230 \frac{m^3}{dia}$$

PARAMETROS TORNILLO DESHIDRATADOR	
Parametros	Valor
Caudal Ingreso (Lodos)	19,2 kg/h
Caudal Salida (Lodos)	9,6 kg/h
Humedad Ingreso	75%
Humedad Salida	50%

TABLA 7.5.3: Parámetros de Entrada y Salida de los Lodos /Fuente: Elaboración propia.

Costo del equipo USD 8000.

7.5.4 PARCELA DE ACONDICIONAMIENTO DE LODOS

Los parámetros de diseño para definir las dimensiones de las parcelas son los siguientes:

PARAMETROS DE DISEÑO PARCELA DE LODOS			
PARÁMETROS DE DISEÑO	Parámetros	Rango típico	Valor
QL (kg/día)	Caudal de lodos	-	19,2
rw/L	Relación ancho/largo	-	1,5:1
n	Número de parcelas	-	2
e (m)	Espesor de la capa de lodos	0,20 – 0,45	0,2

TABLA 7.5.4 : Parámetros de Diseño de la Parcela de Lodos/Fuente: Elaboración propia.

La tasa de producción diaria de lodos, considerando una densidad de lodos de 1030 kg/m³, es:

$$Vl = \frac{19,2 \frac{kg}{día}}{1030 \frac{kg}{m^3}} * 24 \approx 0,019 \frac{m^3}{día}$$

Consideraremos un Ciclo de secado de 25 días, por lo que el volumen total a tratar por ciclo será de:

$$Vt = 0,019 \frac{m^3}{día} * 25 \text{ días} = 0,475 m^3$$

Para calcular el área de cada parcela, consideraremos un espesor de 20 cm:

$$A = \frac{V}{e} = \frac{0,475 m^3}{0,10 m} = 4,75 m^2 \approx 5 m^2$$

$$A = L * W = L * 1,5 * L$$

$$L = 1,83 m$$

$$W = 2,73 m$$

Utilizaremos 2 parcelas de 5 m² cada una, operadas en forma alternada.

PARAMETROS DE LA PARCELA DE SECADO		
PARAMETROS		VALOR
A (m ²)	Area de la Parcela	5
L (m)	Largo de la Parcela	1,83
W (m)	Ancho de la Parcela	2,73
e (m)	Espesor del Borde	0,2
m%	Pendiente de la Parcela	4

TABLA 7.5.4: Parámetros de la Parcela de Secado /Fuente: Elaboración propia.

Costo del Equipo USD 2500.

7.5.5 PILETA DE DISPOSICIÓN FINAL

El efluente clarificado, una vez separado de los lodos en el sedimentador secundario, es conducido a una pileta de disposición final de líquidos. El caudal tratado asciende a 175 m³/día, por lo que se diseñó una pileta con un tiempo de retención hidráulico de 2 días, cumpliendo los valores recomendados en bibliografía especializada (Metcalf & Eddy, 5ta Ed.). Esto resulta en un volumen de 350 m³.

PARAMETROS DE DISEÑO PARA PILETA DE DISPOSICION FINAL			
Parámetro	Valor	Unidad	Fuente / Justificación
Caudal de efluente tratado	7,3	m ³ /h	Salida del sedimentador secundario
Tiempo operativo diario	24	h/día	Supuesto para planta continua
Volumen de lodos retirado	0,224	m ³ /día	Cálculo propio según humedad
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	2	días	Recomendado por Metcalf & Eddy (5ta ed.)
Profundidad útil de la pileta	1,5	m	Valor típico recomendado

TABLA 7.5.5: Parámetros de Diseño para Pileta de Disposición Final /Fuente: Elaboración propia.

Para este tipo de piletas, se suelen aplicar los siguientes criterios (según Metcalf & Eddy, 5ta Ed.):

- Tiempo de retención hidráulica (TRH): 1–3 días típicamente.
- Se recomienda un mínimo de 2 días si no hay cloración ni tratamiento terciario posterior, por lo que tomamos un TRH = 2 días.

El volumen total a tratar será de:

$$V = QE * TRH = 175 \frac{m^3}{día} * 2 \text{ días} = 350 m^3$$

Para una altura típica de 1,5 m, el área de la pileta será de:

$$A = \frac{V}{H} = \frac{350 m^3}{1,5 m} = 233,33 m^2$$

Si consideramos:

$$L = 1,5 * W$$

$$A = L * W = 1,5 * W * W$$

$$W = 12,47 m ; L = 18,71 m$$

PARAMETROS PARA PILETA DE DISPOSICION FINAL			
Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Caudal neto a disposición	175	m ³ /día	7,3 m ³ /h × 24 h – 0,224 m ³ /día
Volumen de la pileta	350	m ³	Caudal × TRH
Superficie necesaria	233	m ²	Volumen / profundidad útil
Dimensiones adoptadas	20 × 12	m	Superficie ≈ 240 m ²

TABLA 7.5.5: Parámetros de la Pileta de Disposición Final/Fuente: Elaboración propia.

Costo del equipo USD 8000.

7.6 EQUIPOS AUXILIARES

7.6.1. BOMBAS

Entre los equipos auxiliares tenemos distintas bombas. La clasificación que se ha dado se basa en el tipo de bomba, teniendo en cuenta el fluido de trabajo. Además, todas se encuentran por duplicado para que trabaje, en caso de fallo o mantenimiento, la de respaldo.

Luego de la clasificación presentada, se detalla una tabla con las características y especificaciones de cada una de las bombas mencionadas.

7.6.1.1 BOMBAS DE TORNILLO

Las bombas de tornillo son equipos volumétricos ideales para el manejo de fluidos con alta viscosidad, sólidos en suspensión o características no homogéneas, como los barros industriales. Su diseño permite un bombeo continuo, sin pulsaciones, y con bajo cizallamiento, lo que las hace especialmente útiles en procesos donde se requiere preservar la estructura del fluido, como en el transporte de lodos o residuos espesos.

- B-A1: Este par de bombas se encuentra en el ingreso del efluente a tratar, el material del cabezal es de acero inoxidable 316 y posee una estanqueidad con empaquetadura y prensaestopas.
- B-B1 ; B-TD1 ; B-PS2 : Estas bombas, también por duplicado, se encuentran en la alimentación a los barros, tornillo deshidratador y parcela de secado, respectivamente. En este caso el material recomendado del cabezal es de acero al carbono con recubrimiento y con empaquetadura.

El fabricante ofrece un modelo Moyno 33108 y posee un costo estimado de 1350 USD/equipo. Por lo que el costo total será de 10800 USD.



ILUSTRACION 7.6.1.1: Bomba de tornillo único /Fuente: Fabricante.

7.6.1.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas son ampliamente utilizadas para el transporte de líquidos limpios o con baja concentración de sólidos, gracias a su simplicidad, eficiencia y bajo costo operativo. Funcionan por medio de la fuerza centrífuga generada por un impulsor giratorio, siendo ideales para aplicaciones generales dentro de plantas de tratamiento, como alimentación de procesos, recirculación o descarga de efluentes tratados.

- B-TE1 ; B-TA1 ; B-IC1 ; B-PS1 ; B-NE1 ; B-SE1; B-DF1: Estas bombas se encuentran en diversas partes del tratamiento. El material recomendado del cabezal por el fabricante es acero inoxidable 316, con sellos mecánicos tanto simples como dobles.
- B-RB1: bomba perteneciente al reactor biológico, que por las características del efluente, el fabricante recomienda un material del cabezal de acero inoxidable 304.

El fabricante de todas las mencionadas es el mismo, ofrece un modelo WDM VHSE8-4 acero SS HP con un costo estimado de 1300 USD/equipo. Por lo que el costo total será de 20800 USD.



ILUSTRACION 7.6.1.2: Bomba centrífuga /Fuente: Fabricante.

7.6.1.3 BOMBAS DOSIFICADORAS DE DIAFRAGMA

Las bombas dosificadoras de diafragma se utilizan para la inyección precisa de productos químicos en sistemas de tratamiento, como coagulantes, floculantes, álcalis o desinfectantes. Gracias a su diseño hermético y a su resistencia química, permiten una dosificación segura y controlada, sin fugas, incluso con productos corrosivos o agresivos, siendo fundamentales para garantizar la eficiencia y seguridad en etapas críticas del proceso.

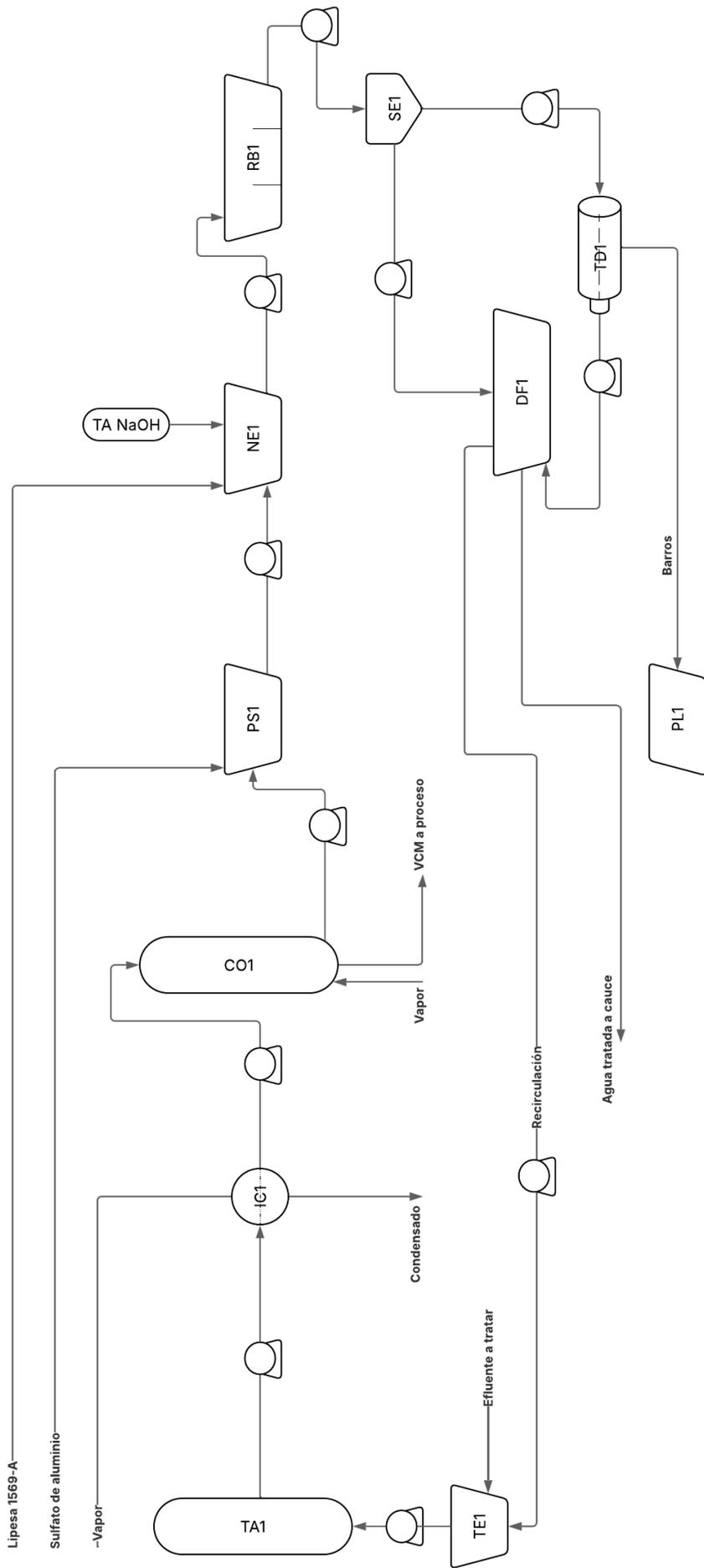
- B-D1 ; B-D3 : Estas bombas dosifican pequeñas cantidades de Sulfato de aluminio e Hipoclorito de sodio, respectivamente. El material recomendado del cabezal por el fabricante es de PVC o PVDF.
- B-D2 : Esta bomba dosifica Hidróxido de sodio al Neutralizador. El material recomendado del cabezal es de PVC o PP.
- B-D4 : Esta bomba dosifica el polímero Lipesa 1569-A al Neutralizador. El material recomendado del cabezal es PVC.

El fabricante ofrece un costo estimado de 350 USD/EQUIPO. Por lo que el costo total será de 2800 USD.



ILUSTRACION 7.6.1.3: Bomba dosificadora /Fuente: Fabricante.

EQUIPOS DE BOMBEO									
Denominación	Bomba	Tipo	Caudal requerido		Potencia (kW)	Material del cabezal	Tipo de estanqueidad	Observaciones	Costo estimado (USD)
			Volmétrico (m ³ /h)	Másico (kg/h)					
B-A1	Alimentación	Tornillo	7,3		2,2	Acero inoxidable 316	Empaquetadura + prensaestopas	Fluido sin tamizar con partículas grandes	1350
B-TE1	Tamiz estático	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico simple	Caudal homogéneo, libre de sólidos grandes	1300
B-TA1	Tanque de almacenamiento	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico simple	Transporte intermedio	1300
B-IC1	Int. Casco y tubos	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico doble	Transporte intermedio	1300
B-CS1	Columna de Stripping	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico doble	Compatible con compuestos orgánicos volátiles	1300
B-PS1	Pileta de sulfatos	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico simple	Riesgos de corrosión	1300
B-D1	Dosificadora para Al ₂ (SO ₄) ₃	Diafragma		4,56	0,18	PVC o PVDF	Diafragma PTFE	Producto corrosivo y denso. Baja presión	700
B-NE1	Neutralizador	Centrífuga			1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico simple	Agua con productos químicos	1300
B-D2	Dosificadora para NaOH	Diafragma		0,3	0,12	PVC o PP	Diafragma PTFE	Corrosivo, requiere materiales resistentes a álcalis	350
B-D3	Dosificadora para NaClO	Diafragma		0,73	0,12	PVC o PVDF	Diafragma PTFE	Agente oxidante. Riesgo de degradación por UV	350
B-D4	Dosificadora para Lipesa 1569 A	Diafragma		0,0081	0,12	PVC	Diafragma PTFE	Polímero, baja dosificación.	350
B-RB1	Reactor Biológico	Centrífuga	7,3		1,8	Acero inoxidable 304	Sello mecánico doble	Mezcla con burbujas y lodos	1300
B-SE1	Sedimentador	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico simple	Mezcla con burbujas y lodos	1300
B-B1	Barros	Tornillo		19,2	2,5	Acero al carbono con recubrimiento	Empaquetadura	Consistencia pastosa, requiere bomba de desplazamiento positivo.	1350
B-TD1	Tornillo deshidratador	Tornillo		19,2	3	Acero al carbono con recubrimiento	Empaquetadura	Mayor viscosidad que B-B1	1350
B-PS2	Parcela de secado	Tornillo		19,2	3	Acero al carbono con recubrimiento	Empaquetadura	Flujo más denso, menor contenido de agua.	1350
B-DF1	Disposición final	Centrífuga	7,3		1,5	Acero inoxidable 316	Sello mecánico simple	Agua tratada lista para disposición final.	1300



 UNCUYO UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA	Planta de tratamiento de efluentes	
	Detalles	Escala
Ingeniería Química - Orientación Medioambiente	Observaciones	-
Proyecto final de carrera	Propietarios: Lopez Ana, Silva Fernández Valentina	Fecha: 24/06/2025

CAPÍTULO VIII - INGENIERÍA DE GESTIÓN

8.1. INGENIERÍA DE GESTIÓN

Una empresa puede definirse como la integración de recursos humanos y materiales que actúan de manera coordinada con un objetivo común. En el caso de este proyecto, dicho objetivo es generar beneficios económicos a través de la producción de bienes y servicios.

Para lograr que esta actividad se desarrolle de forma eficiente y sustentable en el tiempo, es indispensable establecer una estructura organizativa clara. Esto requiere asignar responsabilidades de forma adecuada y asegurar el correcto funcionamiento de cada área dentro de la empresa.

En este capítulo se expondrá la organización interna de la empresa, incluyendo su organigrama y los distintos niveles de jerarquía. Asimismo, se describirán las funciones específicas y los requisitos asociados a cada puesto de trabajo.

Finalmente, se evaluará qué tipo de sociedad resulta más conveniente para este emprendimiento, considerando las particularidades de una sociedad anónima y una sociedad de responsabilidad limitada.

8.2. PRINCIPIOS DE LA ORGANIZACIÓN

Una organización eficiente es clave para asegurar el funcionamiento coordinado de los recursos humanos y técnicos en una empresa. En este caso, la precisión operativa, la seguridad y la trazabilidad son fundamentales, la estructura organizativa debe facilitar la articulación fluida entre los distintos sectores. Para ello, es esencial establecer mecanismos que favorezcan la interacción clara y oportuna entre los miembros del equipo.

Para garantizar una gestión ordenada y eficaz, se deben considerar los siguientes principios organizacionales:

1. **Asignación clara de funciones:** Definir con precisión las tareas de cada puesto para evitar confusiones o superposiciones.
2. **Delimitación de áreas y responsabilidades:** Establecer objetivos y competencias específicas en cada sector para mejorar el control y supervisión.
3. **Estructura jerárquica definida:** Determinar los niveles de autoridad y toma de decisiones para evitar ambigüedades.
4. **Delegación efectiva de autoridad:** Asignar responsabilidades según el nivel jerárquico para agilizar decisiones y fomentar la autonomía.
5. **Selección de personal competente:** Designar los puestos considerando habilidades técnicas e individuales para mejorar el desempeño.
6. **Coordinación entre áreas técnicas y administrativas:** Integrar todos los sectores para alcanzar los objetivos operativos y regulatorios.
7. **Adaptabilidad organizacional:** Permitir que la estructura se ajuste a cambios sin afectar la eficiencia ni la seguridad.
8. **Énfasis en la seguridad y el cumplimiento normativo:** Priorizar el respeto por las normas ambientales y de seguridad, fomentando una cultura preventiva.

8.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ORGANIZACIÓN

8.3.1. CONSTRUCCIÓN LEGAL DE LA EMPRESA

La Ley de Sociedades Comerciales de la República Argentina establece los distintos tipos jurídicos mediante los cuales una empresa puede constituirse, especificando las características, beneficios y obligaciones de cada uno. Entre las formas más utilizadas se encuentran la Sociedad Anónima (S.A.) y la Sociedad de Responsabilidad Limitada (S.R.L.).

De acuerdo con esta normativa, una sociedad se constituye cuando dos o más personas acuerdan realizar aportes de capital con el objetivo de producir o comercializar bienes y/o servicios, distribuyendo las utilidades obtenidas y asumiendo en conjunto los posibles riesgos económicos.

A continuación, se describen brevemente las dos figuras más relevantes para el presente proyecto:

- Sociedad Anónima (S.A.): Su capital se encuentra dividido en acciones, las cuales son aportadas por los socios o accionistas. Estos no responden con su patrimonio personal frente a las deudas de la empresa, ya que su responsabilidad está limitada al valor de sus acciones.
- Sociedad de Responsabilidad Limitada (S.R.L.): El capital social se divide en cuotas, y la cantidad de socios no puede superar los 25. Cada integrante responde únicamente hasta el monto de su aporte, lo que brinda una protección patrimonial similar a la de una S.A., aunque con una estructura más simple y flexible.

Constituir formalmente una empresa trae consigo múltiples ventajas: otorga reconocimiento legal, permite acceder a financiamiento, habilita la emisión de facturas y facilita la operación comercial dentro del marco legal vigente.

Para analizar la forma jurídica más conveniente en el desarrollo de la alternativa propuesta, se comparan dos tipos societarios frecuentes en Argentina: Sociedad Anónima (S.A.) y Sociedad de Responsabilidad Limitada (S.R.L.).

Los datos presentados se basan en la Ley General de Sociedades N.º 19.550.

Criterio	Sociedad Anónima (S.A.)	Sociedad de Responsabilidad Limitada (S.R.L.)
Cantidad de socios	Mínimo 2 - sin límite máximo	2-50
Capital mínimo legal	\$100.000 ARS	Sin capital mínimo
Forma de participación	Acciones	Cuotas sociales
Transferencia de participaciones	Libre (puede venderse en mercado o entre particulares)	Limitada: requiere acuerdo entre socios.
Administración	Directorio de accionistas	Gerentes, reunión de socios
Fiscalización obligatoria	Sí, si supera ciertos montos de capital, empleados o ingresos.	No es obligatorio, salvo que se alcance gran escala.
Costos de constitución	Altos. Requiere publicación en	Menor. Trámite simple y

y gestión	boletín oficial.	económico.
Acceso al financiamiento	Mayor. Puede emitir acciones y atraer inversores fácilmente.	Menor. No accede a la Bolsa de comercio ni puede emitir títulos.
Control y formalidad	Mayor control externo y obligación de presentar balances auditados.	Menor control, exigencias más flexibles.

TABLA 8.3.1: Ley General de Sociedades N.º 19.550 /Fuente: Elaboración propia.

Dado que se trata de un proyecto industrial de considerable envergadura, donde se requiere una alta inversión inicial, posibilidad de acceso a financiamiento, y un eventual crecimiento y participación de múltiples inversores, lo más adecuado es optar por una Sociedad Anónima (S.A.). Esto se debe a que:

- Permite una estructura más flexible para atraer capital externo mediante la emisión de acciones.
- Ofrece mejores herramientas legales para la gestión de grandes volúmenes de inversión y operación.
- Es el tipo societario más utilizado en proyectos industriales de gran escala por su formalidad, credibilidad y transparencia.

8.3.2. RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA

La empresa Auralia S.A. es una prestadora de servicios ambientales especializada en el tratamiento de efluentes líquidos. Su principal actividad está orientada a la gestión y depuración de los residuos generados por la industria del PVC, garantizando el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes y promoviendo prácticas sostenibles en los procesos industriales

8.3.3. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA EMPRESA

Para definir el tamaño organizacional de la empresa, se tomará como referencia la clasificación establecida por el Banco Central de la República Argentina. Se considerarán PyMEs —incluidas las personas físicas cuya evaluación crediticia se basa en los ingresos generados por su actividad comercial, profesional u oficio— a aquellas empresas cuyas ventas totales anuales, expresadas en pesos, no superen los límites máximos fijados según el sector económico al que pertenezcan. Esta categorización se realizará de acuerdo con las actividades definidas en el 'Clasificador de Actividades Económicas (CLAE) – Formulario N° 883'.

La siguiente tabla fue obtenida del sitio oficial de la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP), a través del CLAE. Según la naturaleza del presente proyecto, la empresa se encuadra dentro de la categoría “Servicios de depuración de aguas residuales, alcantarillados y cloacas”, correspondiente al código 370000. Esta clasificación permite establecer parámetros económicos relevantes, tales como el límite de ventas anuales para la categorización como PyM, por lo que previamente deben definirse los ingresos para saber en qué categoría se encuentra.

Categoría	Construcción	Servicios	Comercio	Industria y minería	Agropecuario
Micro	569.050.000	266.790.000	1.371.080.000	940.600.000	661.490.000
Pequeña	3.376.460.000	1.608.430.000	9.766.640.000	7.028.260.000	2.436.680.000
Mediana Tramo 1	18.838.350.000	13.312.440.000	46.423.090.000	50.022.750.000	14.339.940.000
Mediana Tramo 2	28.254.420.000	19.012.110.000	66.319.160.000	101.070.840.000	22.744.110.000

TABLA 8.3.3: Clasificador de Actividades Económicas /Fuente: Banco de la Nación Argentina.

8.3.3.1. TIEMPO PROMEDIO DE OPERACIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS ANUALES

Es necesario determinar la cantidad de proyectos que se concretarán en un año laboral. En base a estudios recientes, se sabe que los proyectos de esta índole demoran entre 4 a 6 meses, por lo que se toma el caso de mayor demora en un enfoque conservador.

Por lo que en un año de trabajo, se llevarán a cabo dos proyectos, considerando como demora los tiempos de diseño y aprobación, compra y entrega de equipos, e instalación y pruebas.

También se considera la posibilidad de tomar proyectos en simultáneo, en distintas etapas. Por lo que se define que la empresa Auralia S.A. tomará hasta cuatro proyectos anuales, como máximo.

8.3.3.2. COSTOS E INGRESOS DE LOS PROYECTOS

Los costos de los dos tipos de proyecto se dividen en las siguientes cuatro categorías, y sus valores están entre los siguientes rangos:

- Costos de diseño e ingeniería: 15000-20000 U\$D
- Costos de equipos: 50000-90000 U\$D
- Costos de obras e instalaciones: 22000-32000 U\$D
- Costos de puesta en marcha y pruebas: 7000-9000 U\$D

Por lo que el costo total para cada tipo de proyecto, pequeño (p) y mediano (m) ronda los valores indicados:

$$CT_p = 94000 \frac{U\$D}{proyecto}$$

$$CT_m = 151000 \frac{U\$D}{proyecto}$$

Estimando una ganancia del 25%, el precio de venta de cada proyecto será:

$$PV_p = 117500 \frac{U\$D}{proyecto}$$

$$PV_m = 188750 \frac{U\$D}{proyecto}$$

Suponiendo los siguientes casos límites:

1. La empresa lleva a cabo 4 proyectos pequeños. Al cambio del día, donde el dólar oficial equivale a 1106 ARS, los ingresos anuales serán de: $IA_p = 519.820.000 \text{ ARS}$

2. La empresa lleva a cabo 4 proyectos medianos. Los ingresos anuales serán de: $IA_m = 835.030.000 \text{ ARS}$

En cualquiera de los dos casos, la empresa Auralia S.A., se encuentra dentro de la categoría MICRO para el sector.

8.4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura organizacional representa el modo en que una empresa distribuye y articula las funciones, los niveles de autoridad y las responsabilidades dentro de su funcionamiento interno. A través de esta estructura se establecen líneas claras de supervisión, comunicación y ejecución, lo que permite alcanzar una coordinación eficiente entre las diferentes áreas que integran la organización.

Diseñar una estructura funcional no solo implica definir tareas específicas, sino también facilitar el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la empresa mediante un uso racional de los recursos humanos y materiales. La división del trabajo se realiza según la naturaleza de las actividades y no con base en características individuales, lo cual favorece una mayor objetividad al momento de asignar responsabilidades. Este criterio también permite una mejor adaptación ante situaciones de cambio o crecimiento.

En este sentido, la definición precisa de funciones y jerarquías resulta clave para evitar solapamientos, ambigüedades y conflictos de responsabilidad. Para garantizar la correcta ejecución de las tareas, es recomendable documentar en manuales internos el alcance de cada puesto, indicando a quién debe reportarse y cuáles son los procesos asociados a su función.

Cabe mencionar que ciertas funciones auxiliares —como limpieza, vigilancia o servicios generales— serán tercerizadas a empresas especializadas. Esta decisión responde a criterios de eficiencia y reducción de costos, permitiendo que la organización concentre sus recursos en sus actividades principales.

Como así también las tareas vinculadas al área de Recursos Humanos serán delegadas a consultoras externas especializadas. Estas últimas se encargan de seleccionar y reclutar personal acorde a los perfiles requeridos, asegurando que cada incorporación cumpla con los estándares técnicos y culturales de la empresa.

En definitiva, una estructura organizacional bien definida no solo facilita el flujo de trabajo, sino que también fortalece la claridad operativa de la empresa, promoviendo la eficiencia y el logro de los objetivos en un entorno dinámico.

8.4.1. ORGANIGRAMA

Un organigrama es una herramienta visual que representa la estructura interna de una organización, detallando la jerarquía de cargos, los distintos niveles de autoridad y la relación entre áreas o departamentos. Su principal objetivo es facilitar la comprensión del funcionamiento interno de la empresa, mostrando de forma clara cómo se distribuyen las responsabilidades, a quién debe reportarse cada sector y cómo fluye la información dentro de la organización. Entre los aspectos claves que define un organigrama se encuentran:

- La jerarquía organizacional (quién depende de quién).
- La división funcional del trabajo (qué hace cada área).
- La coordinación entre departamentos.

Esta herramienta es fundamental tanto para la planificación estratégica como para la gestión operativa, ya que permite detectar duplicidades, mejorar la eficiencia y fortalecer la comunicación interna.

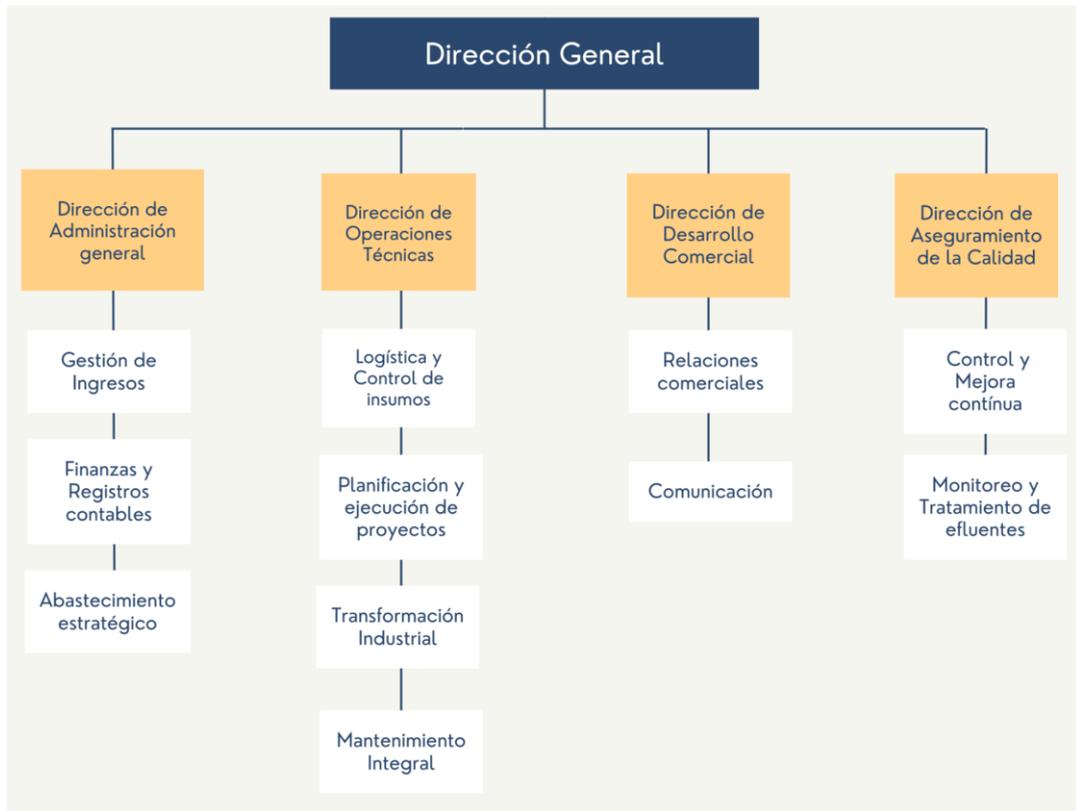


ILUSTRACIÓN 8.4.1: Organigrama Aurelia S.A. /Fuente: Elaboración propia.

8.4.1.1. DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN GENERAL

Responsable de la gestión económica, administrativa y documental de la empresa. Garantiza el soporte operativo que permite el desarrollo fluido de las demás áreas.

- Área de Gestión de Ingresos

Supervisa la facturación, seguimiento de pagos y recuperación de créditos. Su objetivo es mantener un flujo de caja óptimo para el funcionamiento del negocio.

- Área de Finanzas y Registros contables

Controla la contabilidad general, realiza análisis financieros, gestiona presupuestos y asegura el cumplimiento de las obligaciones fiscales.

- Área de Abastecimiento estratégico

Gestiona la compra de insumos, materias primas y servicios necesarios para el funcionamiento de la planta. Negocia con proveedores y garantiza el abastecimiento continuo con criterios de costo, calidad y tiempo.

DIRECCIÓN DE OPERACIONES TÉCNICAS

- Área de logística y control de insumos

Administra el almacenamiento, manejo y distribución interna de materiales, tanto en materia prima como productos intermedio y finales. Controla inventario y coordina envíos.

- Área de Planificación y Ejecución de proyectos (agregar al organigrama)

Desarrolla y supervisa la implementación de mejoras, expansiones y nuevas instalaciones. Coordina equipos interdisciplinarios para cumplir con los plazos y presupuestos de cada proyecto.

- Área de Transformación Industrial

Supervisa el funcionamiento de las líneas de producción, el cumplimiento de los parámetros técnicos y la eficiencia operativa.

- Área de Mantenimiento Integral

Realiza el mantenimiento preventivo y correctivo de maquinaria e infraestructura, garantizando la disponibilidad técnica y la seguridad de los equipos.

DIRECCIÓN DE DESARROLLO COMERCIAL

- Área de Relaciones comerciales

Administra la red de clientes, negocia contratos y gestiona la atención postventa. Su objetivo es fidelizar a los compradores y captar nuevas oportunidades comerciales.

- Área de comunicación y posicionamiento

Desarrolla acciones de marketing, publicidad y presencia institucional. También gestiona la imagen de la empresa y el análisis de mercado.

DIRECCIÓN DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

- Área de control y mejora continua

Implementa sistemas de gestión de la calidad, auditorías internas y acciones correctivas. Evalúa indicadores de desempeño y asegura la conformidad con normativas.

- Área de Monitoreo y Tratamiento de efluente

Supervisa el funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, asegurando que el agua tratada cumpla con los requisitos de vertido establecidos por la legislación vigente. También coordina análisis de laboratorio y mejoras en el sistema.

8.4.2. FICHAS DE FUNCIÓN

La ficha de función es un documento que describe de manera clara las tareas, responsabilidades y requerimientos de un puesto dentro de la organización. Sirve para delimitar funciones, establecer relaciones jerárquicas y facilitar una gestión eficiente del personal.

Además, permite definir el perfil de puesto, considerando la formación académica, habilidades técnicas, experiencia laboral y conocimientos específicos necesarios para desempeñarse de forma adecuada.

Esta herramienta resulta esencial para asegurar el orden, la transparencia y la coherencia en la estructura organizativa de la empresa.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección general
ÁREA	Dirección general
FUNCIÓN	Gerente General
SUPERVISADO POR	Direcciones: Administració general, Operaciones técnicas, Desarrollo comercial, Aseguramiento de la
SUPERVISA A	Direcciones: Administració general, Operaciones técnicas, Desarrollo comercial, Aseguramiento de la
REPORTA A	-
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Definir y supervisar los objetivos estratégicos de la planta. . Coordinar y controlar las actividades de todas las direcciones. . Tomar decisiones clave en cuanto a inversiones, recursos humanos y cumplimiento normativo. . Representar a la empresa ante organismos públicos, privados y entidades regulatorias. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Formación universitaria en Ingeniería, Administración o afines. . Experiencia mínima de 10 años en cargos gerenciales, preferentemente en el sector industrial o ambiental. . Habilidades de liderazgo, negociación y toma de decisiones. . Conocimientos en normativa ambiental, planificación estratégica y finanzas corporativas. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Gerente General /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Administración General
ÁREA	Administración General
FUNCIÓN	Director de Administración General
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefes de: Gestión de ingresos, Finanzas y registros contables, Abastecimiento estratégico
REPORTA A	Gerente General
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Coordinar la gestión financiera y contable de la empresa. . Supervisar procesos de compras, ingresos y abastecimiento. . Velar por el cumplimiento presupuestario y por una administración eficiente de los recursos. . Garantizar el cumplimiento de normativas impositivas y legales. . Garantizar una relación interna con áreas administrativas, técnicas y comerciales. Externamente con proveedores y entidades financieras. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Título universitario en Administración, Contabilidad o carreras afines. . Experiencia de 5 años en roles similares en entornos industriales. . Competencias: liderazgo, gestión financiera, toma de decisiones estratégicas, comunicación efectiva. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Director de Administración General /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Administración General
ÁREA	Gestión de Ingresos
FUNCIÓN	Jefe de Gestión de Ingresos
SUPERVISADO POR	Director de Administración
SUPERVISA A	
REPORTA A	Director de Administración
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Supervisar y registrar los ingresos diarios de la empresa. . Controlar el cumplimiento de pagos de servicios prestados o productos comercializados. . Coordinar con el área contable para la conciliación de ingresos bancarios. . Preparar informes periódicos de ingresos y desviaciones presupuestarias. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Formación en Administración de Empresas, Contabilidad o afines. . Capacidad para el análisis numérico, orden y precisión. . Manejo de software de gestión financiera. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Gestión de Ingresos /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Administración General
ÁREA	Gestión de Ingresos
FUNCIÓN	Jefe de Finanzas y Resgistros contables
SUPERVISADO POR	Director de Administración
SUPERVISA A	
REPORTA A	Director de Administración
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Registrar y controlar todos los movimientos contables. . Elaborar balances, estados de resultados y presentaciones fiscales. . Garantizar el cumplimiento tributario en tiempo y forma. . Coordinar auditorías internas y externas. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Contador Público o Licenciado en Administración. . Conocimientos sólidos en normativa fiscal y contabilidad. . Experiencia en gestión contable en organizaciones industriales. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Finanzas y registros contables /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Administración General
ÁREA	Gestión de Ingresos
FUNCIÓN	Jefe de Abastecimiento Estratégico
SUPERVISADO POR	Director de Administración
SUPERVISA A	
REPORTA A	Director de Administración
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Planificar compras estratégicas y programadas de insumos y materiales. . Negociar con proveedores asegurando calidad, costo y tiempos de entrega. . Mantener actualizado el inventario y stock crítico. . Coordinar con áreas técnicas los requerimientos específicos de insumos. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Técnico en Logística, Ingeniería Industrial o afines. . Capacidad de negociación, planificación y análisis de costos. . Experiencia en compras industriales 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Abastecimiento estratégico /Fuente: Elaboración propia.

ALURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección de Operaciones Técnicas
ÁREA	Operaciones técnicas
FUNCIÓN	Director de Operaciones Técnicas
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefes de: Logística y control de insumos, Planificación y ejecución de proyectos, Transformación industrial, Mantenimiento integral.
REPORTA A	Gerente General
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Coordinar con áreas técnicas, de mantenimiento y proveedores. . Supervisar la planificación, ejecución y control de los procesos operativos de la planta. . Coordinar el abastecimiento técnico y la gestión de mantenimiento. . Asegurar la eficiencia operativa y el cumplimiento de cronogramas de producción. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Título universitario en Ingeniería Química, Industrial o afines. .Experiencia de 5 años en gestión de operaciones en plantas industriales. .Competencias: gestión de proyectos, liderazgo técnico, análisis operativo, resolución de problemas. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Director de Operaciones técnicas /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección de Operaciones Técnicas
ÁREA	Logística y control de insumos
FUNCIÓN	Jefe de Logística y control de insumos
SUPERVISADO POR	Director de Operaciones técnicas
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Operaciones técnicas
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> .bCoordinar la recepción, almacenamiento y entrega de insumos en planta. . Asegurar la trazabilidad y control de stock de productos químicos. . Implementar sistemas de gestión de almacenes y seguridad de materiales peligrosos. . Coordinar con el área de mantenimiento las entregas técnicas programadas 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Ingeniería Industrial, Logística o afines. . Conocimientos en almacenamiento de sustancias peligrosas. . Habilidades de organización, control y uso de software logístico 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Logística y control de insumos /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección de Operaciones Técnicas
ÁREA	Planificación y ejecución de proyectos
FUNCIÓN	Jefe de Planificación y ejecución de proyectos
SUPERVISADO POR	Director de Operaciones técnicas
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Operaciones técnicas
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Elaborar cronogramas y presupuestos para nuevos proyectos. . Realizar el seguimiento y control de avances físicos y financieros. . Coordinar con contratistas y equipos internos para cumplimiento de plazos. . Informar desfasajes y proponer medidas correctivas. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Ingeniería Civil, Química o afines. . Manejo de software de gestión de proyectos (MS Project). . Experiencia en obras industriales o de infraestructura. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Planificación y ejecución de proyectos /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección de Operaciones Técnicas
ÁREA	Transformación industrial
FUNCIÓN	Jefe de Transformación industrial
SUPERVISADO POR	Director de Operaciones técnicas
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Operaciones técnicas
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Supervisar el funcionamiento técnico de los procesos de tratamiento. . Implementar mejoras técnicas para la eficiencia operativa. . Coordinar con el laboratorio la validación de parámetros críticos. . Asegurar la disponibilidad de equipos y materiales. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Ingeniería Química, Ambiental o afines. . Experiencia en plantas de tratamiento o industria de procesos. . Capacidad para el análisis técnico-operativo. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Transformación industrial /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección de Operaciones Técnicas
ÁREA	Mantenimiento integral
FUNCIÓN	Jefe de Mantenimiento integral
SUPERVISADO POR	Director de Operaciones técnicas
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Operaciones técnicas
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Planificar y ejecutar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. . Supervisar contratistas y recursos técnicos internos. . Garantizar disponibilidad y buen estado de equipos y estructuras. . Mantener registros y planes de mantenimiento actualizados. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Técnico Mecánico, Electromecánico o afín. . Experiencia en mantenimiento de plantas industriales. . Capacidad de diagnóstico, liderazgo y resolución de problemas técnicos. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del jefe de Mantenimiento integral /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Dirección de Desarrollo Comercial
ÁREA	Dirección de Desarrollo Comercial
FUNCIÓN	Director de Desarrollo Comercial
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefes de: Relaciones Comerciales, Comunicación y posicionamiento
REPORTA A	Gerente General
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<p>.Diseñar estrategias comerciales y de posicionamiento en el mercado. . Coordinar relaciones con clientes, proveedores y actores institucionales. . Supervisar la comunicación institucional y promocional de la empresa. .Relación con clientes, comunicación y áreas internas.</p>	
PERFIL DE PUESTO	
<p>. Título universitario en Comercialización, Marketing o Administración. .Experiencia de 5 años en desarrollo comercial o ventas industriales. .Competencias: Negociación, pensamiento estratégico, habilidades comunicacionales, orientación al cliente.</p>	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Director de Desarrollo comercial /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Desarrollo comercial
ÁREA	Relaciones comerciales
FUNCIÓN	Jefe de Relaciones comerciales
SUPERVISADO POR	Director de Desarrollo comercial
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Desarrollo comercial
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Mantener contacto con clientes actuales y gestionar nuevos contratos. . Participar en licitaciones o presentaciones comerciales. . Relevar necesidades del mercado y coordinar estrategias de ventas. . Brindar soporte comercial a otras áreas. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Comercialización, Administración o afines. . Buen manejo interpersonal, negociación y comunicación. . Experiencia en ventas técnicas o industriales. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Relaciones comerciales /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Desarrollo comercial
ÁREA	Comunicación y Posicionamiento
FUNCIÓN	Jefe de Comunicación y posicionamiento
SUPERVISADO POR	Director de Desarrollo comercial
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Desarrollo comercial
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Diseñar y ejecutar planes de comunicación interna y externa. . Elaborar material institucional y contenido para redes sociales o medios. . Coordinar campañas de imagen, eventos y visitas institucionales. . Brindar soporte comunicacional ante emergencias. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Comunicación Social, Relaciones Institucionales o afines. . Buena redacción, creatividad y manejo de herramientas digitales. . Experiencia en comunicación organizacional. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Comunicación y posicionamiento /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Aseguramiento de la Calidad
ÁREA	Aseguramiento de la Calidad
FUNCIÓN	Director de Aseguramiento de la Calidad
SUPERVISADO POR	Gerente General
SUPERVISA A	Jefes de: Control y mejora continua, Monitoreo y tratamiento de efluentes
REPORTA A	Gerente General
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Desarrollar e implementar políticas de calidad en todos los procesos. . Supervisar auditorías internas y externas. . Coordinar acciones de mejora continua y cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Formación en Ingeniería o carreras afines con especialización en calidad. . Conocimientos de normas ISO (9001, 14001, etc.) y legislación ambiental. . Capacidad analítica y experiencia en control de calidad de procesos. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Director de Aseguramiento de la Calidad /Fuente: Elaboración propia.

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Aseguramiento de la calidad
ÁREA	Control y mejora continua
FUNCIÓN	Jefe de Control y mejora continua
SUPERVISADO POR	Director de Aseguramiento de la Calidad
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Aseguramiento de la Calidad
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Establecer indicadores de gestión y calidad. . Monitorear procesos clave para detectar desviaciones. . Proponer e implementar acciones de mejora continua. . Auditar cumplimiento de procedimientos y estándares. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Ingeniería Industrial, de Calidad o afines. . Conocimiento en ISO 9001, herramientas de mejora y gestión por procesos. . Capacidad de análisis y trabajo transversal. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Control y mejora continua /Fuente: Elaboración propia .

AURALIA S.A.	
FICHA DE FUNCIÓN	
DIRECCIÓN	Aseguramiento de la calidad
ÁREA	Monitoreo y Tratamiento de efluentes
FUNCIÓN	Jefe de Monitoreo y Tratamiento de efluentes
SUPERVISADO POR	Director de Aseguramiento de la Calidad
SUPERVISA A	-
REPORTA A	Director de Aseguramiento de la Calidad
CATEGORÍA	Fuera del Convenio Colectivo de Trabajo
RESPONSABILIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> . Controlar parámetros fisicoquímicos y biológicos del efluente. . Supervisar las operaciones de tratamiento. . Elaborar informes regulatorios y coordinar monitoreos. . Proponer mejoras técnicas para el cumplimiento normativo. 	
PERFIL DE PUESTO	
<ul style="list-style-type: none"> . Ingeniería Ambiental, Química o afines. . Experiencia en sistemas de tratamiento de aguas residuales. . Conocimiento de normativa ambiental vigente. 	

TABLA 8.4.2: Ficha de función del Jefe de Monitoreo y tratamiento de efluentes /Fuente: Elaboración propia.

8.4.3. CATEGORIZACIÓN DEL PERSONAL

En el análisis salarial presente, se toma como referencia el Convenio Colectivo de Trabajo “Unión Empleados de la Construcción y Afines de la República Argentina”, definido a partir del informe presentar por el ARCA, en el que se encuentran las siguientes actividades relevantes al proyecto:

- Los servicios de arquitectura e ingeniería y servicios técnicos no categorizados previamente.
- Los servicios relacionados con la construcción (incluye los servicios prestados por ingenieros, arquitectos y técnicos).
- Instalación de maquinaria y equipos industriales.

La clasificación del personal, según se presenta en el CCT 660/13, es la siguiente:

- Dirección de Administración general:
 - a- Jefe de Administración general: 1ra Categoría: Analista administrativo según CCT. Empleado que desempeña tareas de responsabilidad y que por sus amplios conocimientos, le permite organizar y/u orientar las tareas del área:
El salario básico para este puesto asciende a: \$1.049.146
 - b- Jefe de Gestión de ingresos: 2da Categoría: Auxiliar administrativo, según CCT.
El salario básico para este puesto asciende: \$968.527

c- Jefe de Finanzas y registros contables: 2da Categoría: Auxiliar administrativo, según CCT. El salario básico para este puesto asciende: \$968.527

d- Jefe de Abastecimiento estratégico: 2da Categoría: Auxiliar administrativo, según CT. El salario básico para este puesto asciende: \$968.527

- Dirección de Operaciones Técnicas:

a- Director de Operaciones Técnicas: 1era Categoría: Analista técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.147.156

b- Jefe de Logística y control de insumos: 2da Categoría: auxiliar técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.062.849

c- Jefe de Planificación y ejecución de proyectos: 2da Categoría: auxiliar técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.062.849

d- Jefe de Transformación industrial: 2da Categoría: auxiliar técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.062.849

e- Jefe de Mantenimiento integral: 2da Categoría: auxiliar técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.062.849

- Dirección de Desarrollo Comercial

a- Director de Desarrollo Comercial: 1era Categoría: Analista administrativo, según CCT. El salario básico asciende a \$1.049.146

b- Jefe de Relaciones comerciales: 2da Categoría: auxiliar administrativo, según CCT. El salario básico asciende a \$968.527

c- Jefe de Comunicación: 2da Categoría: auxiliar administrativo, según CCT. El salario básico asciende a \$968.527

- Dirección de Aseguramiento de la Calidad

a- Director del Aseguramiento de la Calidad: 1era Categoría: analista técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.147.156

b- Jefe de Control y mejora continua: 2da Categoría: auxiliar técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.062.849

c- Jefe de Monitoreo y Tratamiento de efluentes: 2da Categoría: auxiliar técnico, según CCT. El salario básico asciende a \$1.062.849

El monto total de los salarios básicos asciende a \$14.549.481 , o USD 12125.

8.5. PLANIFICACIÓN Y TURNOS DE TRABAJO

Se establece un cronograma de trabajo de los puestos de la empresa, con las horas y turnos de cada uno. Se define también que los cargos directivos trabajarán un solo turno de 6 horas, mientras que los responsables de cada área, trabajarán dos turnos de 4 horas cada uno.

Aurelia S.A.			
Rol	Puestos a cubrir	Turnos	Trabajadores necesarios
Dirección General			
Gerente General	1	1	1
Dirección de Administración general			
Director de Administración	1	1	1
Área de Gestión de ingresos			
Jefe de Gestión de ingresos	1	2	1
Área de Finanzas y Registros contables			
Jefe de Finanzas y Registros contables	1	2	1
Área de Abastecimiento estratégico			
Jefe de Abastecimiento	1	2	1
Dirección de Operaciones técnicas			
Director de Operaciones técnicas	1	1	1
Área de Logística y control de insumos			
Jefe de Logística y control de insumos	1	2	1
Área de Planificación y ejecución de proyectos			
Jefe de Planificación y ejecución de	1	2	1
Área de Transformación industrial			
Jefe de Transformación	1	2	1
Área de Mantenimiento integral			
Jefe de Mantenimiento	1	2	1
Dirección de Desarrollo comercial			
Director de Desarrollo comercial	1	1	1
Área de Relaciones comerciales			
Jefe de Relaciones comerciales	1	2	1
Área de Comunicación			
Jefe de Comunicación	1	2	1
Dirección de Aseguramiento de la Calidad			
Director de Aseguramiento de la Calidad	1	1	1
Área de Control y mejora continua			
Jefe de Control y mejora continua	1	2	1
Área de Monitoreo y Tratamiento de efluentes			
Jefe de Monitoreo y Tratamiento en	1	2	1
TOTAL	16	27	16

TABLA 8.5: Planificación y turnos de trabajo, Aurelia S.A. /Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IX - DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

9.1. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

El diseño y distribución de la planta de tratamiento de efluentes líquidos es un aspecto clave para asegurar un funcionamiento eficiente, seguro y ordenado. La correcta ubicación de cada área permite optimizar los tiempos de trabajo, mejorar la seguridad operativa, facilitar el control de procesos y asegurar condiciones adecuadas tanto para el personal como para los equipos. A continuación, se describen las principales áreas que conforman la planta, su función y una estimación del espacio requerido para cada una.

9.2. RECEPCIÓN Y CONTROL DE INSUMOS

Espacio destinado a la descarga, inspección y verificación de insumos, equipos y materiales que ingresan a la planta. Incluye acceso vehicular y zona de maniobras.

Área estimada: 100 m²

9.3. PROCESO Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Sector operativo principal donde se desarrollan las etapas del tratamiento del efluente líquido. Contiene unidades de separación física, tratamiento químico-biológico y sistemas de control.

Área estimada: 800 m²

9.4. DEPÓSITO TÉCNICO DE EQUIPOS Y MATERIALES

Zona destinada al almacenamiento ordenado de repuestos, equipos auxiliares, productos químicos y materiales generales necesarios para la operación y mantenimiento.

Área estimada: 120 m²

9.5. CARGA Y EXPEDICIÓN DE SUBPRODUCTOS

Espacio para la disposición final o despacho de residuos tratados, lodos o materiales reutilizables. Incluye zona de carga y documentación logística.

Área estimada: 90 m²

9.6. LABORATORIO DE CONTROL Y MONITOREO DE CALIDAD

Área equipada para la realización de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de efluente en diferentes etapas del proceso, asegurando el cumplimiento normativo.

Área estimada: 90 m²

9.7. TALLER DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES TÉCNICAS

Sector destinado a trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo de equipos, con herramientas, banco de trabajo y repuestos específicos.

Área estimada: 70 m²

9.8. GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y TÉCNICA

Espacios de oficina para la Dirección, Supervisión Técnica, personal administrativo y planificación. Incluye salas de reuniones y archivo documental.

Área estimada: 100 m²

9.9. SALA DE BIENESTAR Y DESCANSO PERSONAL

Ambiente destinado al descanso del personal operativo y administrativo. Está equipado con mobiliario básico, dispenser, microondas y mesas.

Área estimada: 60 m²

9.10. NÚCLEO DE SERVICIOS HIGIÉNICOS Y VESTUARIOS

Infraestructura sanitaria adecuada para el personal, con baños diferenciados por género, duchas, lavabos y lockers para el cambio de ropa.

Área estimada: 60 m²

9.11. PLAYA DE ESTACIONAMIENTO VEHICULAR

Sector externo destinado al aparcamiento de vehículos del personal, proveedores y visitas. Debe contar con señalización y circulación segura.

Área estimada: 150 m²

Sector	Área estimada (m ²)
Recepción y control de insumos	100
Proceso	800
Depósito de equipos y materiales	120
Cargas y expedición de subproductos	90
Laboratorio de control y monitoreo de calidad	90
Taller de mantenimiento y reparaciones	70
Gestión administrativa y técnica	100
Sala de bienestar y descanso personal	60
Núcleo de servicios higiénicos	60
Playa de estacionamiento vehicular	150

Tabla 9.11: Distribución de la planta /Fuente: Elaboración propia.



ILUSTRACIÓN 9.11: Distribución de la planta /Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO X - ASPECTOS JURÍDICOS

10.1 ASPECTOS JURÍDICOS

En todo proyecto industrial, y especialmente en uno vinculado al tratamiento de efluentes, resulta fundamental considerar no sólo su viabilidad técnica y económica, sino también su adecuación al marco legal vigente. La incorporación de los aspectos jurídicos permite asegurar que las actividades desarrolladas respeten las normativas ambientales, de seguridad, y de uso del suelo aplicables en la zona donde se emplaza la planta. Este capítulo aborda la legislación y regulaciones que rigen este tipo de emprendimientos, garantizando que el proyecto se desarrolle dentro de los parámetros legales establecidos y evitando posibles sanciones, conflictos sociales o daños al ambiente.

10.2 MARCO LEGAL

En la presente tabla se presentan las principales normativas, desde un nivel internacional hasta uno municipal, relevantes para la implementación de sistemas de tratamientos de efluentes industriales.

Norma	Título/Descripción
Tratados Internacionales	<ul style="list-style-type: none">• Conferencia de Estocolmo (1972)• Convenio de Basilea (1989)• Conferencia sobre medioambiente en Río de Janeiro (1992)• Protocolo de Kyoto (1997)
Constitución Nacional	Artículo 41
Leyes Nacionales	<ul style="list-style-type: none">• N°25.675: Ley General de Ambiente• N°24.051: Ley de Residuos Peligrosos• N°25.612: Gestión Integral de Residuos Industriales• N°25.688: Gestión de Ambiente de Aguas• N°19.875: Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo• N°13.959: Ley de Gestión Integral de Residuos Peligrosos
Leyes Provinciales (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none">• N° 11.727: Ley Integral de medioambiente y Recursos Naturales• N° 5.965: Protección a las fuentes y a cursos y cuerpos receptores de agua y atmósfera
Leyes Municipales (Bahía Blanca)	<ul style="list-style-type: none">• Resolución N° 336/03: Parámetros de vertido• Ordenanza N° 6.209: Código de Preservación del Medio y Control de la Contaminación Ambiental.

TABLA 10.2: Principales normativas para el tratamiento de efluentes industriales /Fuente: Elaboración propia.

10.3 LEGISLACIÓN NACIONAL

En Argentina, el marco legal ambiental define obligaciones y garantías tanto para los ciudadanos como para las actividades industriales, con el propósito de asegurar la preservación del ambiente y promover un desarrollo sostenible. La Constitución Nacional y las leyes vigentes establecen los principios rectores y los instrumentos de control que permiten regular los efectos ambientales de las actividades productivas.

10.3.1 CONSTITUCIÓN NACIONAL

Artículo 41: Reconoce el derecho de todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano, y establece que las actividades productivas deben satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras. Prohíbe expresamente la introducción al país de residuos actuales o potencialmente peligrosos, y obliga a las autoridades a proveer la protección ambiental, preservar los recursos naturales, conservar el patrimonio natural y cultural, y promover la educación ambiental. Además, determina que la nación fija las normas de presupuestos mínimos y las provincias pueden complementar esta legislación.

Artículo 43: Permite que cualquier persona afectada pueda presentar una acción de amparo para proteger derechos reconocidos en la Constitución, incluyendo el derecho a un ambiente sano. Además, faculta a cualquier habitante, el defensor del pueblo y asociaciones ambientales a iniciar acciones legales ante el daño o amenaza al ambiente, a la salud o a los derechos de incidencia colectiva.

10.3.2 LEY 25.675 - LEY GENERAL DE AMBIENTE

La Ley 25.675, conocida como Ley General del Ambiente, es la norma marco de la política ambiental en Argentina. Fue sancionada en 2002 y establece los presupuestos mínimos para la protección ambiental en todo el país. Su objetivo principal es garantizar un desarrollo sustentable, promoviendo el equilibrio entre el crecimiento económico y la preservación del ambiente.

Entre sus puntos clave, la ley incorpora principios como el preventivo, precautorio y de responsabilidad, obliga a realizar evaluaciones de impacto ambiental (EIA) para proyectos con potencial riesgo, fomenta la educación ambiental y asegura la participación ciudadana en temas ambientales. Es una herramienta fundamental para el control y la gestión de las actividades que puedan afectar al ambiente.

10.3.3. LEY 24.051 - LEY DE RESIDUOS PELIGROSOS

Establece el régimen legal para la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, exigiendo autorización previa y registro ante la autoridad competente. Introduce el principio de responsabilidad objetiva y solidaria por los daños que estos residuos puedan causar al ambiente, la salud o los bienes.

10.3.4 LEY 25.612 - GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y DE ACTIVIDADES Y SERVICIOS

Complementa a la Ley 24.051, diferenciando los residuos industriales de los peligrosos. Establece pautas para su manejo seguro, minimización y disposición final, exigiendo planes de gestión integral por parte de las empresas generadoras, con fiscalización de autoridades nacionales y provinciales.

10.3.5 LEY 19.857 - HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Regula las condiciones de salud, higiene y seguridad en el ámbito laboral, obligando a los empleadores a garantizar entornos de trabajo seguros mediante evaluaciones de riesgos, capacitación, uso de elementos de protección y seguimiento médico de los trabajadores.

10.3.6 LEY 13.959 - GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

Adapta la normativa nacional al ámbito provincial, regulando la gestión de residuos peligrosos en la provincia. Obliga a los generadores, transportistas y operadores a inscribirse en registros provinciales, presentando documentación técnica y garantizando la trazabilidad de los residuos. *Ley superior: Ley Nacional 24.051.*

10.3.7 LEY 25.688 - GESTIÓN AMBIENTAL DE AGUAS

Establece los principios rectores para la preservación, conservación y uso racional del recurso hídrico en Argentina, considerando al agua como un bien de uso público. Promueve el enfoque integral en la gestión de cuencas y la coordinación interjurisdiccional.

10.4. LEGISLACIÓN PROVINCIAL

10.4.1. LEY 11.723 - CÓDIGO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Es la norma marco ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Establece los principios, objetivos y mecanismos de protección, conservación y uso racional del ambiente y los recursos naturales. Regula actividades industriales, agrícolas, urbanas y extractivas.

10.4.2. LEY 5.965 - PROTECCIÓN DEL AGUA Y LA ATMÓSFERA

Regula los vertidos líquidos y emisiones gaseosas en la provincia. Establece normas para prevenir la contaminación de fuentes de agua y aire, imponiendo límites a descargas y sanciones por incumplimiento. *Ley inmediata superior: Ley 11.723.*

10.5. LEGISLACIÓN MUNICIPAL

10.5.1. RESOLUCIÓN 336/03 - PARÁMETROS DE VERTIDO BAHÍA BLANCA

Norma municipal que fija los límites máximos permitidos para los efluentes líquidos industriales volcados al sistema cloacal y cuerpos receptores en Bahía Blanca, en concordancia con las exigencias provinciales. *Norma superior: Ley 5.965.*

Parámetros	Unidad	Límites para descargar
		Cond. Pluvial o cuerpo de agua
Temperatura	°C	<45
pH	upH	6,5-10
Sólidos Sedim	ml/l	ausente
D.B.O	mg/l	<50
D.Q.O.	mg/l	<250

TABLA 10.5.1: Parámetros de descarga según Resolución 336/03 /Fuente: Elaboración propia.

10.5.2. ORDENANZA 6.209 - CÓDIGO DE PRESERVACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Establece el marco legal ambiental del municipio de Bahía Blanca, regulando el uso del suelo, tratamiento de residuos, control de emisiones y protección de recursos naturales. Define sanciones y promueve la participación ciudadana. *Norma inmediata superior: Ley 11.723.*

CAPITULO XI - ASPECTOS NORMATIVOS

11. ASPECTOS NORMATIVOS

Nuestra empresa, dedicada al tratamiento de efluentes industriales generados durante la producción de PVC, se compromete con el cumplimiento de normas técnicas y de calidad ambiental como parte fundamental de su política de gestión responsable. En el contexto de un proyecto de ingeniería con orientación en medio ambiente, la aplicación de normas no solo garantiza el cumplimiento legal, sino que promueve la eficiencia operativa, la protección de los recursos naturales y la seguridad de los trabajadores y del entorno.

La adopción de normas nacionales e internacionales de calidad y gestión ambiental permite establecer procesos estandarizados, medir el desempeño ambiental de manera objetiva y asegurar la mejora continua. En Argentina, existen normativas técnicas desarrolladas por organismos como IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), que complementan la legislación vigente y orientan el diseño y operación de sistemas industriales bajo parámetros de calidad reconocidos.

En este capítulo se detallan las normas técnicas, ambientales y operativas consideradas en el diseño y futura operación de la planta, así como los criterios para su aplicación, monitoreo y seguimiento.

11.1 NORMAS A APLICAR

En el contexto argentino, existen múltiples normativas técnicas que orientan el diseño, operación y control de plantas de tratamiento de efluentes. Si bien muchas de estas normas son de cumplimiento obligatorio, otras representan decisiones estratégicas adoptadas de manera voluntaria por parte de las empresas que buscan optimizar sus procesos y destacarse en el mercado.

Las normas de gestión ambiental, calidad, seguridad y muestreo permiten establecer procedimientos estandarizados, garantizar trazabilidad, facilitar auditorías y asegurar el cumplimiento de parámetros de vertido establecidos por la legislación. En este sentido, su implementación se transforma en una herramienta clave para mejorar el desempeño general de la planta y reducir riesgos técnicos y ambientales.

Adoptar certificaciones reconocidas, como las emitidas por organismos como IRAM, ISO o bajo criterios internacionales, no solo fortalece la imagen institucional de la empresa, sino que también genera confianza en los clientes, en los organismos de control y en la comunidad. A su vez, estas prácticas permiten acceder a nuevas oportunidades comerciales, especialmente en entornos donde se valoran la transparencia, la responsabilidad ambiental y la mejora continua.

Si bien su implementación requiere una planificación técnica, inversión económica y compromiso organizacional, los beneficios superan ampliamente los costos. La sistematización de tareas, la reducción de fallas y la mejora en la calidad del servicio son solo algunos de los resultados observables en el corto y mediano plazo.

En las siguientes secciones, se presentan las principales normas y certificaciones que se consideran pertinentes para garantizar el correcto funcionamiento y la competitividad de la planta de tratamiento de efluentes industriales en la Argentina.

11.1.1 NORMAS ISO

Las normas ISO (International Organization for Standardization) son referentes internacionales en materia de gestión organizacional, calidad, medio ambiente, seguridad, entre otras áreas. Adoptar estas normas garantiza que los procesos dentro de la empresa estén alineados con buenas prácticas globales, facilitando la integración con otras organizaciones, la transparencia y la sostenibilidad.

11.1.1.1 NORMAS ISO 9000 – SISTEMAS DE GESTION DE CALIDAD

La serie ISO 9000 establece los fundamentos para implementar un sistema de gestión de la calidad efectivo. En particular, la ISO 9001 define los requisitos necesarios para garantizar que los productos y servicios cumplan consistentemente con las expectativas del cliente y los requerimientos legales aplicables.

En una planta de tratamiento de efluentes, su implementación permite:

- Documentar y estandarizar los procesos operativos y administrativos.
- Mejorar la calidad del servicio a través del control de variables críticas.
- Incrementar la eficiencia y reducir errores operativos.
- Aumentar la satisfacción del cliente mediante la entrega de resultados consistentes y confiables.

11.1.1.2 NORMAS ISO 14000 – SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL

Esta familia de normas establece criterios para desarrollar e implementar políticas ambientales efectivas. La más reconocida, la ISO 14001, proporciona una estructura sistemática para identificar los aspectos ambientales, cumplir con la normativa vigente y establecer metas de mejora continua en el desempeño ambiental.

Su aplicación en la planta permite:

- Gestionar de forma eficaz los residuos, emisiones y uso de recursos naturales.
- Minimizar los impactos negativos sobre el ambiente circundante.
- Mejorar la imagen institucional y la aceptación social.
- Reducir el riesgo de sanciones por incumplimientos ambientales.

También incluye herramientas para la evaluación del ciclo de vida de productos y la gestión sostenible de recursos.

11.1.1.3 NORMAS ISO 26000 – RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL

La ISO 26000 no es una norma certificable, pero ofrece una guía integral para que las organizaciones operen de forma ética, transparente y comprometida con el desarrollo sostenible. Define principios y prácticas para integrar la responsabilidad social en todos los niveles de la empresa.

En el caso de este proyecto, se promueve:

- El compromiso con el entorno social donde se ubica la planta.
- Buenas condiciones laborales, equidad y diversidad en el lugar de trabajo.
- Protección del medio ambiente más allá del cumplimiento legal.

- Participación en el desarrollo de la comunidad local y relaciones abiertas con las partes interesadas.

11.1.2 NORMAS IRAM.

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) desarrolla normas técnicas adaptadas al marco nacional, muchas de las cuales son versiones localizadas de normas internacionales. Para una planta de tratamiento de efluentes, las normas IRAM son esenciales en aspectos como muestreo, calidad del agua, seguridad industrial, gestión de residuos y buenas prácticas ambientales.

Entre las más relevantes se pueden mencionar:

- IRAM 2901: relacionada con los procedimientos para el muestreo de aguas, garantizando representatividad y exactitud en los análisis.
- IRAM 21562: sobre gestión ambiental en la industria, brindando pautas sobre prevención de la contaminación, uso eficiente de recursos y gestión de residuos.

El cumplimiento de estas normas permite al proyecto alinearse con las expectativas regulatorias nacionales y asegurar la calidad técnica del servicio prestado.

11.1.3 NORMAS OHSAS 18000 – SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

La serie OHSAS 18000 (Occupational Health and Safety Assessment Series), aunque actualmente ha sido reemplazada por la ISO 45001, sigue siendo una referencia reconocida en muchos entornos industriales. Su propósito es ayudar a las organizaciones a controlar los riesgos en materia de salud y seguridad laboral.

Su aplicación en una planta de tratamiento de efluentes industriales permite:

- Prevenir accidentes y enfermedades laborales, especialmente ante riesgos asociados al manejo de sustancias químicas, equipos pesados, trabajos en altura o en espacios confinados.
- Promover una cultura preventiva entre los trabajadores.
- Cumplir con la legislación laboral argentina en materia de higiene y seguridad.
- Generar procedimientos ante emergencias, evacuación y control de incidentes.

El sistema también contempla auditorías periódicas, capacitación del personal y mejora continua del entorno de trabajo.

CAPÍTULO XII - ASPECTOS AMBIENTALES

12.1. ASPECTOS AMBIENTALES

La gestión ambiental adecuada es un eje central en el desarrollo de cualquier proyecto industrial, ya que su éxito no depende únicamente de la viabilidad técnica y económica, sino también del cumplimiento de las normativas vigentes y de la aceptación por parte de la sociedad. En este caso, al tratarse de una planta destinada al tratamiento de efluentes generados en la producción de PVC, el compromiso con el medio ambiente no solo forma parte esencial de su razón de ser, sino que representa también un valor estratégico clave.

No obstante, esta misma característica convierte al proyecto en un actor altamente expuesto, donde cualquier falencia en materia ambiental podría poner en riesgo su legitimidad y generar cuestionamientos públicos. Por lo tanto, el cumplimiento estricto de las regulaciones ambientales no debe entenderse únicamente como una obligación legal, sino como un requisito indispensable para preservar la confianza de la comunidad y consolidar la reputación institucional.

La sostenibilidad del proyecto requiere un equilibrio entre la rentabilidad económica, la protección del entorno y la aceptación social. Más allá de mitigar impactos negativos, es necesario adoptar prácticas transparentes y responsables que refuercen el vínculo con la comunidad y aseguren una operación alineada tanto con las exigencias normativas como con las expectativas sociales.

El impacto ambiental se define como cualquier modificación, positiva o negativa, que una actividad puede generar sobre el entorno natural o social. Evaluarlo es un paso fundamental dentro del proceso de planificación, ya que permite anticipar consecuencias no deseadas, aplicar medidas de prevención y optimizar el diseño y operación de las instalaciones para reducir riesgos y potenciar beneficios.

En este capítulo se presenta una evaluación preliminar de los impactos ambientales asociados a las distintas fases del proyecto: construcción, operación, mantenimiento y abandono. Este análisis busca ofrecer una primera aproximación al comportamiento ambiental del sistema, y si bien sienta las bases para una gestión adecuada, será necesario complementarlo con estudios específicos sobre la generación, tratamiento y disposición de residuos y efluentes. Estos últimos temas, por su complejidad, serán desarrollados con mayor detalle en etapas posteriores.

12.2 ESTRUCTURA DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental comprende los siguientes ítems:

- Determinación de la línea de base ambiental o línea cero – constituye la descripción general del entorno donde se situaría el proyecto
- Identificación y valoración de impactos ambientales
- Plan de gestión ambiental

12.2.1 DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE BASE AMBIENTAL O BASE CERO

Aquí se describirán las características del entorno donde se emplaza el proyecto, considerando distintos aspectos ambientales como el medio natural cultural, antrópico y otros involucrados.

12.2.1.1 MEDIO FÍSICO

REGIÓN FITOGEOGRÁFICA Y RELIEVE

El área de Bahía Blanca se encuentra dentro de la Provincia Fitogeográfica del Espinal, específicamente en el Distrito Pampeano. Esta región constituye una zona de transición ecológica entre la llanura pampeana húmeda y las regiones más áridas del oeste, caracterizándose por una vegetación xerófila, con predominio de arbustos bajos, pastizales naturales y formaciones boscosas abiertas, donde pueden hallarse especies como algarrobos, molles y chañares.

El relieve predominante es llano a suavemente ondulado, aunque en las cercanías —especialmente hacia el norte y oeste— se encuentran elevaciones pertenecientes al sistema de sierras de la Ventana, conformado por sierras bajas de origen precámbrico. En el entorno del Polo Petroquímico, ubicado al sur de la ciudad, predomina una planicie litoral marina, con suaves ondulaciones y suelos salino-sódicos de escasa permeabilidad.

CLIMA

El clima de Bahía Blanca es templado semiárido, con marcada amplitud térmica y precipitaciones escasas, distribuidas principalmente entre la primavera y el verano. A continuación, se describen las condiciones promedio según la estación:

- Verano (dic-feb): Temperaturas medias entre 22 y 24 °C, con máximas que pueden superar los 35 °C en jornadas cálidas.
- Otoño (mar-may): Temperaturas promedio de 15 °C, con descenso progresivo hacia el invierno.
- Invierno (jun-ago): Temperaturas medias entre 7 y 9 °C, con mínimas absolutas por debajo de 0 °C y posibles heladas.
- Primavera (sep-nov): Medias térmicas entre 14 y 18 °C, con aumento gradual hacia el verano.

Los vientos predominantes son del norte y noroeste durante el verano, y del sudoeste en invierno, siendo estos últimos frecuentes y de intensidad moderada a alta.

PRECIPITACIONES

Las precipitaciones son escasas, con un promedio anual de aproximadamente 500-600 mm. La mayor parte de las lluvias se concentra entre octubre y marzo, siendo los meses más secos junio, julio y agosto.

HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa varía entre el 60 % y el 75 % a lo largo del año, siendo más baja durante el verano y más alta durante el invierno. El valor medio anual ronda el 68 %.

SUELOS

Los suelos del área son en su mayoría halomórficos y áridos, de bajo desarrollo y escasa fertilidad natural. Se presentan problemas frecuentes de salinidad y sodicidad, especialmente en zonas cercanas a la costa y planicies deprimidas. Poseen una baja capacidad de retención

de agua y una cobertura vegetal natural reducida, lo que los hace susceptibles a procesos de erosión eólica e hídrica en ausencia de cobertura vegetal o manejo adecuado.

AIRE

La calidad del aire en la zona es monitoreada continuamente debido a la alta concentración de actividades industriales. Aunque se han reportado ocasionales emisiones contaminantes, los registros promedio se mantienen dentro de los niveles permitidos por la legislación nacional. No obstante, la exposición al riesgo aumenta debido a la alta densidad industrial del Polo Petroquímico, que incluye plantas químicas y refinerías, lo que exige una estricta vigilancia de gases como SO₂, NO_x y compuestos orgánicos volátiles.

MEDIO BIÓTICO

La región ha experimentado una significativa alteración de sus condiciones naturales debido al desarrollo urbano e industrial. Sin embargo, aún se identifican elementos representativos de la biota del Espinal.

FLORA

- En zonas urbanizadas: Se observan especies introducidas y ornamentales (acacias, álamos, eucaliptos), así como céspedes y arbustos resistentes a la sequía.
- En zonas no urbanizadas: Predominan matorrales bajos, especies xerófilas como jarilla, piquillín, y pastizales duros. También se identifican salicornias en zonas de salitre.

FAUNA

- En áreas no urbanizadas: Presencia de especies adaptadas a climas secos y suelos pobres, como el zorro pampeano, armadillo mulita, liebre europea y comadreja overa.
- Aves: tero común, chimango, halconcito gris, y diversas especies de patos y garzas en áreas costeras.
- En zonas intervenidas: Reducción significativa de la biodiversidad, aunque se mantiene la presencia de especies generalistas y aves urbanas como palomas, gorriones y horneros.

12.2.1.2 MEDIO ANTRÓPICO

El Polo Petroquímico de Bahía Blanca se encuentra en la provincia de Buenos Aires, sobre el litoral atlántico, a una latitud aproximada de 38° 44' Sur y longitud 62° 16' Oeste. Está ubicado a escasos kilómetros del centro urbano de la ciudad de Bahía Blanca y a aproximadamente 650 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El complejo industrial se emplaza a una altitud media de 5 metros sobre el nivel del mar, sobre terrenos llanos y de fácil acceso.

Este polo industrial es uno de los más importantes del país en materia petroquímica y energética. Alberga empresas de gran envergadura como Dow Argentina, Profertil, Unipar Indupa, Mega y TGS, dedicadas a la producción de etileno, polietileno, cloro, soda cáustica, urea y otros productos químicos derivados del gas natural y del petróleo.

El polo se beneficia de una ubicación estratégica, con conexiones ferroviarias, viales y portuarias de alta capacidad. El Puerto de Bahía Blanca, de aguas profundas, permite operaciones de carga y descarga de buques de gran calado, favoreciendo tanto la importación de materias primas como la exportación de productos terminados.

La zona presenta una fuerte orientación productiva, con un ecosistema industrial consolidado que no solo genera miles de empleos directos e indirectos, sino que también promueve el desarrollo de proveedores especializados en servicios técnicos, mantenimiento, logística y transporte. La actividad industrial constituye un eje económico fundamental para la ciudad y la región, aportando significativamente a los ingresos fiscales locales y nacionales.

12.2.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

En la actualidad, ha quedado atrás la visión de que los recursos naturales son infinitos. La conciencia ambiental y el desarrollo sostenible exigen una gestión responsable de los impactos que puedan derivarse de las actividades industriales. En este contexto, el proyecto de instalación de una planta de tratamiento de efluentes líquidos provenientes de la producción de resina de PVC, en el Parque Industrial de Bahía Blanca, requiere un análisis cuidadoso de los efectos que podría generar sobre el entorno, tanto en su fase de construcción como en su etapa operativa y posterior cierre.

El Estudio de Impacto Ambiental contempla la identificación y evaluación de las acciones más significativas durante la construcción y operación de la planta, incluyendo la ejecución de obras civiles, el manejo de residuos y las emisiones asociadas al tratamiento del efluente.

Para analizar estos impactos, se han elaborado dos matrices: una orientada a identificar los impactos ambientales potenciales y otra destinada a valorar cuantitativamente. Esta última emplea una metodología basada en los lineamientos propuestos por D. Vicente Conesa Fernández en su *Guía metodológica para la evaluación de impactos ambientales*, adaptada al presente proyecto para permitir una ponderación objetiva de cada impacto identificado.

12.2.3 ETAPAS DEL PROYECTO

A continuación, se citan las actividades que se espera que sucedan durante todo el desarrollo del proyecto, incluyendo su abandono. Entre ellas tenemos el acondicionamiento de los terrenos y accesos, tareas previas a la construcción del proyecto, instalación de la planta de tratamiento de efluentes en sí, operación de la misma y posteriormente su abandono.

12.2.3.1 CONSTRUCCIÓN

A1- TRANSPORTE DE MAQUINARIA PESADA Y CONSTRUCCIÓN DE ACCESOS VIALES

Durante esta etapa se movilizarán equipos como retroexcavadoras, topadoras y grúas, necesarios para preparar el terreno. Las tareas incluyen el retiro de la cobertura vegetal existente y el acondicionamiento del suelo, actividades que implican la remoción de materiales naturales. Además, se ejecutarán los accesos viales internos y externos que permitan el ingreso de vehículos y maquinaria al predio.

A2- MONTAJE DE OBRADORAS, TRANSPORTE DE MATERIALES Y EQUIPOS

Se procederá con la instalación de estructuras temporales, tales como oficinas de obra, depósitos, áreas de almacenamiento y sanitarios para el personal. Estas instalaciones permitirán organizar las actividades constructivas. También se realizará el transporte y acopio de materiales y equipos requeridos para las obras civiles.

A3- LIMPIEZA DE LA ZONA, EXCAVACIONES Y OTROS MOVIMIENTOS DE TIERRA

Esta fase contempla la remoción de vegetación, residuos sólidos dispersos y otros elementos superficiales mediante maquinaria pesada. Asimismo, se llevarán a cabo excavaciones para la

instalación de componentes clave de la planta, como el pulmón de contingencia, cámaras de aforo y los pozos de monitoreo de aguas subterráneas.

A4- OBRAS CIVILES

En esta instancia se construirán las estructuras definitivas de la planta, incluyendo los tanques de almacenamiento, sistemas de cañerías, estaciones de bombeo, canales de aforo y otras instalaciones esenciales para el tratamiento de efluentes.

A5- INSTALACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS

Una vez concluidas las obras civiles, se instalarán los equipos técnicos necesarios para el funcionamiento de la planta. Esto incluye reactores de tratamiento, tamices estáticos, bombas, tanques de mezcla y equipos auxiliares destinados a la gestión eficiente del efluente.

A6- GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

Durante todo el proceso constructivo se generarán residuos de distinta índole, tales como escombros, restos de materiales y embalajes. Estos serán clasificados, acopiados temporalmente en áreas designadas y gestionados según su tipo, priorizando el reciclado y la disposición final en sitios habilitados conforme a la normativa ambiental vigente.

12.2.3.2 OPERACIÓN

A7- PUESTA EN MARCHA

Durante esta etapa inicial, se comienza a introducir el efluente real generado por el proceso industrial de producción de PVC en el sistema de tratamiento. En esta fase, se ajustan y calibran los parámetros operativos de cada unidad para asegurar que los valores finales cumplan con los límites establecidos por la normativa de vuelco vigente en la provincia de Buenos Aires.

A8- OPERACIÓN DE LA PLANTA

Una vez estabilizado el sistema, se pone en marcha la operación continua de la planta. Esto incluye la recepción y conducción del efluente, la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos para su depuración, así como el acondicionamiento de los lodos resultantes. Todas estas actividades se realizarán de acuerdo con protocolos técnicos que garanticen la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento de los parámetros de descarga

A9- MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Con el objetivo de mantener la eficiencia y seguridad operativa, se implementarán rutinas periódicas de mantenimiento preventivo y correctivo sobre los equipos electromecánicos, estructuras de tratamiento, sistemas de bombeo, sensores y demás instalaciones de la planta. Estas tareas permitirán asegurar una operación ininterrumpida, segura y ambientalmente responsable

A10- GESTIÓN DE LODOS

Durante la operación, se generarán residuos sólidos derivados del proceso, como lodos provenientes de la decantación o filtración, y residuos de mantenimiento. Estos serán recolectados, tratados y gestionados conforme a los requerimientos establecidos por la Autoridad del Agua y el OPDS, priorizando su disposición segura o su posible valorización como subproducto si es técnicamente viable.

12.2.3.3 ABANDONO

A10- VACIADO Y LIMPIEZA DE INSTALACIONES

En caso de cierre definitivo de la planta, se procederá al vaciado de todos los tanques, reactores, líneas de cañerías y demás componentes del sistema. Se realizará una limpieza exhaustiva para eliminar trazas de sustancias químicas, residuos orgánicos o contaminantes que pudieran permanecer en el sistema

A11- GESTIÓN DE RESIDUOS FINALES

Todos los residuos generados durante el proceso de cierre, como lodos remanentes, productos químicos almacenados y materiales fuera de uso, serán evaluados y, en caso necesario, neutralizados. Posteriormente se clasificará cada tipo de residuo y se dispondrá en operadores habilitados, garantizando el cumplimiento de la legislación ambiental vigente

A12- DESMONTAJE DE EQUIPOS E INFRAESTRUCTURA

Los equipos y estructuras que aún presenten valor operativo o comercial serán desmontados y retirados del sitio para su reutilización, reciclaje o disposición final según corresponda. Esto incluye bombas, tanques, estructuras metálicas y unidades de tratamiento. El desmantelamiento se ejecutará siguiendo criterios de seguridad y protección ambiental.

A13- REMEDIACIÓN DEL SITIO, GESTIÓN DOCUMENTAL Y CIERRE LEGAL

Se evaluará el estado ambiental del sitio, mediante análisis del suelo y de las aguas subterráneas, para identificar posibles afectaciones provocadas por las actividades industriales. Si se detecta contaminación, se aplicarán medidas de remediación adecuadas.

Asimismo, se presentará ante las autoridades ambientales la documentación correspondiente al cierre, incluyendo informes técnicos, certificaciones y gestiones de permisos, asegurando que la clausura de la planta se realice en cumplimiento de la normativa legal vigente.

12.2.4 PARÁMETROS EVALUADOS

En la matriz incluida en la evaluación de prefactibilidad de este proyecto, se realiza un análisis parcial del impacto generado por cada una de las actividades detalladas sobre distintos factores del entorno en el que se desarrollará el proyecto.

Los parámetros ambientales considerados para evaluar la afectación de estas actividades son los siguientes:

MEDIO FÍSICO

1. Aire
 - a- Calidad fisicoquímica
 - b- Nivel de material particulado
 - c- Nivel sonoro
2. Agua
 - a- Calidad fisicoquímica del agua superficial

- b- Calidad fisicoquímica del agua subterránea
- 3. Suelo
 - a- Calidad fisicoquímica
 - b- Calidad edafológica
 - c- Geomorfología

MEDIO BIÓTICO

- 1. Flora
 - a- Autóctona
 - b- Introducida
- 2. Fauna
 - a- Autóctona
 - b- Introducida

MEDIO SOCIOECONÓMICO

- 1. Población
 - a- Calidad de vida y salud
- 2. Desarrollo urbano
 - a- Infraestructura y accesos
 - b- Servicios
- 3. Economía
 - a- Nivel de empleo

12.2.5 MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL - MÉTODO DE CONESA MODIFICADO

Un impacto se define como el cambio que provoca una alteración, ya sea positiva o negativa, en la calidad de vida del ser humano y en el entorno natural.

El Método Conesa es una metodología de valoración cuantitativa ampliamente utilizada, que permite asignar un valor al impacto generado mediante la evaluación de distintos factores en relación con un valor de referencia preestablecido.

La Matriz de Impacto Ambiental es una herramienta analítica que permite asignar un grado de importancia (I) a cada impacto ambiental derivado de la ejecución de un proyecto en sus distintas etapas.

12.2.5.1 CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA (I) DE UN IMPACTO AMBIENTAL

La ecuación utilizada para determinar la importancia del impacto ambiental es la siguiente:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

- \pm : Naturaleza del impacto (positivo o negativo)
- I : importancia del impacto
- i : intensidad o grado probable de destrucción
- EX : extensión o área de influencia del impacto
- MO: momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto
- PE: persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto
- RV: reversibilidad del impacto por efecto del mismo entorno
- SI: sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples
- AC: si existe acumulación o efecto de incremento progresivo
- EF: tiempo de efecto (directo o indirecto)
- PR: periodicidad del impacto
- MC: recuperabilidad o grado de reconstrucción por medios humanos

12.2.5.2 TIPOLOGÍA DE IMPACTOS

A continuación, se describen los distintos tipos de impactos ambientales según el método de valoración mencionado anteriormente.

0. Según la variación de la calidad ambiental (CA)

- Positivo: Genera un efecto beneficioso que puede ser aceptado por la comunidad técnica, científica y la población en general.
- Negativo: Provoca la pérdida de un valor natural, estético, cultural o paisajístico, así como contaminación, erosión, degradación, entre otros efectos adversos.

1. Según la intensidad o grado de destrucción (IN)

- Mínimo o Bajo: Provoca una modificación poco significativa en el factor ambiental considerado.
- Medio-Alto: Genera alteraciones en algunos factores del medio ambiente.
- Muy Alto: Ocasiona modificaciones severas en el medio y en los recursos naturales, con repercusiones apreciables e incluso una destrucción casi total del factor ambiental afectado.

2. Según la extensión del impacto (EX)

- Puntual: La acción impactante afecta un área muy localizada.
- Parcial: Su efecto se percibe en una parte significativa del medio.
- Total: Su impacto se extiende de manera generalizada en el entorno considerado.

3. Según el momento en que se manifiesta (MO)

- Latente: Puede presentarse en el corto, mediano o largo plazo, generalmente debido a la acumulación o sinergia de efectos. Ejemplo: contaminación del suelo por acumulación de productos químicos agrícolas.
- Inmediato: El impacto se manifiesta de forma instantánea tras la acción que lo genera, asimilándose a un impacto de corto plazo.

4. Según su persistencia en el tiempo (PE)
 - Permanente: Sus efectos se mantienen indefinidamente, con una duración superior a diez años (ej. construcción de carreteras).
 - Temporal: No es permanente y puede clasificarse en:
 - Fugaz: Impacto de duración inferior a un año.
 - Temporal: Impacto con duración de uno a tres años.
 - Persistente: Impacto que perdura entre cuatro y diez años (ej. reforestación de desmontes).

5. Según su capacidad de recuperación (MC) y reversibilidad (RV)
 - Recuperable: Puede eliminarse mediante medidas correctoras en el corto o mediano plazo (ej. restauración de vegetación y fauna).
 - Mitigable: Puede atenuarse con medidas correctoras.
 - Irrecuperable: La pérdida del medio es imposible de reparar (ej. infraestructuras de hormigón).
 - Irreversible: No es posible retornar al estado original por medios naturales (ej. desertificación).
 - Reversible: El entorno puede recuperar su estado original gracias a mecanismos de auto depuración ambiental (ej. desmontes para carreteras).

6. Según la acumulación e interrelación de efectos (AC)
 - Simple: Afecta únicamente a un componente ambiental específico (ej. construcción de caminos que incrementa el tránsito).
 - Acumulativo: Su impacto se agrava con el tiempo debido a la falta de mecanismos de eliminación natural (ej. construcción de un área recreativa junto a un camino forestal).

7. Según la relación causa-efecto (EF)
 - Directo: Impacta inmediatamente sobre un factor ambiental (ej. tala de árboles en una zona boscosa).
 - Indirecto o Secundario: Afecta a un factor ambiental en relación con otro (ej. degradación de la vegetación debido a la lluvia ácida).

8. Según su periodicidad (PR)
 - Continuo: Su efecto se mantiene de manera permanente o regular (ej. actividad de canteras).
 - Discontinuo: Se presenta de forma irregular (ej. industrias que eventualmente emiten contaminantes).
 - Periódico: Se manifiesta de manera intermitente pero constante (ej. incendios forestales estacionales).

POR VARIACION EN CALIDAD		INTENSIDAD (IN)	
Impacto positivo	+	Baja	1
Impacto negativo	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSION (EX) (Area de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Mediano plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Critico	(+4)
Critica	(+4)		
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV) (Por medidas naturales)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Mediano plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		ACUMULACION (AC) (Incremento progresivo)	
Recuperable de manera inmediata	1	Simple	1
Recuperable a medio plazo	2	Acumulativo	4
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		
EFEECTO (EF) (Relación causa-efecto)		PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
Indirecto	1	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
IMPORTANCIA (I)			
$(I) = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$			

ILUSTRACION 12.2.5.2: Valoración de impactos ambientales /Fuente: Guía metodológica para la evaluación de impactos ambientales, Conesa Fernández - Vítora (1997).

La imagen anterior indica la valoración de los impactos. Con la aplicación de este método, se puede calcular la importancia del impacto generado, clasificándolas según el valor obtenido.

Valor I	Clasificación	Significado
<25	BAJO	La afectación del mismo es irrelevante en comparación con los fines y objetivos del proyecto en cuestión
25 ≥ <50	MODERADO	La afectación del mismo no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas
50 ≥ < 75	SEVERO	La afectación de este exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctoras o protectoras
≥75	CRÍTICO	La afectación del mismo es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad en las condiciones ambientales. No hay posibilidad de recuperación alguna.

TABLA 12.2.5.2: Valoración de impactos ambientales /Fuente: Guía metodológica para la evaluación de impactos ambientales, Conesa Fernández - Vítora (1997).

Acciones	Factores	Subfactores	CONSTRUCCIÓN					OPERACIÓN					ABANDONO				
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	
Medio físico	Aire	Calidad fisicoquímica	F1	Posible contaminación por emisión de gases	Posible contaminación por emisión de gases	No aplica	No aplica	No aplica	Posible contaminación por emisión de gases	No aplica	Posible contaminación por emisión de gases	Posible contaminación por emisión de gases	Riesgo de contaminación por descomposición	Posible contaminación por emisión de gases	Posible contaminación por inadecuado manejo de	No aplica	Reducción en la posibilidad de alteración por cese de actividad
		Nivel de Material Particulado	F2	Incremento en el nivel de material particulado	Incremento en el nivel de material particulado	Incremento en el nivel de material particulado	Incremento en el nivel de material particulado	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Incremento en el nivel de material particulado por desmontaje de equipos	Reducción en la posibilidad de alteración por cese de actividad
		Nivel sonoro	F3	Incremento en el nivel de ruido ambiental por uso de maquinaria pesada	Incremento en el nivel de ruido ambiental por uso de maquinaria pesada	Incremento en el nivel de ruido ambiental por uso de maquinaria pesada	Incremento en el nivel de ruido ambiental por uso de maquinaria pesada	Incremento en el nivel de ruido ambiental por actividades de instalación	No aplica	Incremento temporal del nivel de ruido	Incremento temporal del nivel de ruido	Posible incremento temporal del nivel de ruido	No aplica	No aplica	No aplica	Incremento temporal del nivel de ruido	Reducción en la posibilidad de alteración por cese de actividad
	Agua	Calidad fisicoquímica del agua superficial	F4	Posible contaminación por derrames de aceites u otras sustancias	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Posible contaminación por arrastre	Posible contaminación por vuelco de efluentes	Mejora en la calidad del agua destinada a vuelco	Posibilidad de contaminación por residuos de limpieza de equipos	Riesgo de contaminación por escape de líquidos	Posible contaminación por arrastre de residuos	Posible contaminación por inadecuada gestión	No aplica	Importante disminución en la disponibilidad del recurso tratado
		Calidad fisicoquímica del agua subterránea	F5	No aplica	No aplica	Posible infiltración de sedimentos o contaminantes durante la perforación	Posible contaminación al realizar pozos	No aplica	Posible contaminación por lixiviación	Posible contaminación por infiltración de efluentes	Reducción en la posible contaminación de los recursos	Posible lixiviación de contaminantes	No aplica	Posible contaminación por infiltración de residuos remanentes	No aplica	No aplica	Importante disminución en el riesgo por contaminación
	Suelo	Calidad fisicoquímica	F6	Alteración de la composición por remoción y compactación	Parcialmente alterado por compactación de la zona	Parcialmente alterado por remoción profunda	No aplica	No aplica	Posible contaminación por inadecuada disposición	Posible afectación local por derrame	Posible acumulación de lodos	Posible contaminación por disposición inadecuada de desechos	Riesgo de contaminación por acumulación	Posible alteración	Posible contaminación por infiltración de residuos	Alteración parcial	Recuperación por cese de actividades
		Calidad edafológica	F7	Pérdida parcial el horizonte fértil	No aplica	Leve afectación sobre la calidad de retención de agua	No aplica	No aplica	Posible alteración por contacto con residuos	No aplica	Posible alteración por contacto con residuos	Posible alteración por contacto con residuos	Posible alteración por contacto con residuos	Posible alteración por contacto con residuos	Posible alteración por contacto con residuos	No aplica	Recuperación por cese de actividades
		Geomorfología	F8	Alteración del perfil superficial del suelo	No aplica	Alteración de la estructura del suelo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Recuperación por cese de actividades
	Medio biótico	Flora	Autóctona	F9	No aplica	No aplica	Reducción de cobertura vegetal por desmonte	No aplica	No aplica	Posible afectación por incorrecta gestión	Posible afectación indirecta por derrame de efluentes	No aplica	Posible afectación por incorrecta gestión	No aplica	No aplica	No aplica	Recuperación progresiva por cese de actividades
			Introducida	F10	No aplica	No aplica	Reducción de cobertura vegetal por desmonte	No aplica	No aplica	Posible afectación por incorrecta gestión	Posible afectación indirecta por derrame de efluentes	No aplica	Posible afectación por incorrecta gestión	No aplica	No aplica	No aplica	Recuperación progresiva por cese de actividades
	Fauna	Autóctona	F11	Alteración de dinámica y comportamiento	Alteración de dinámica y comportamiento	Alteración parcial de hábitat	Alteración de dinámica y comportamiento	Alteración de dinámica y comportamiento	Posible afectación por incorrecta gestión	Posible afectación por derrame	Posible alteración por contacto con residuos	Posible alteración por contacto con residuos	No aplica	No aplica	No aplica	Alteración de dinámica y comportamiento	Restablecimiento progresivo debido al cese de actividades
		Introducida	F12	Alteración de dinámica y comportamiento	Alteración de dinámica y comportamiento	Alteración parcial de hábitat	Alteración de dinámica y comportamiento	Alteración de dinámica y comportamiento	Posible afectación por incorrecta gestión	Posible afectación por derrame	Posible alteración por contacto con residuos	Posible alteración por contacto con residuos	No aplica	No aplica	No aplica	Alteración de dinámica y comportamiento	Restablecimiento progresivo debido al cese de actividades
Medio socioeconómico	Población	Calidad de vida y salud	F13	Posibilidad de accidentes	Posibilidad de accidentes	Posibilidad de afecciones por ruido y polvo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Posible impacto por gestión inadecuado	No aplica	Reducción del riesgo sanitario bajo una correcta	Posibilidad de accidentes	Reducción en la disponibilidad del recurso hídrico para consumo
	Desarrollo humano	Infraestructura y accesos	F14	Mejora en la conectividad dentro del parque industrial	No aplica	Posible daños en ruas	No aplica	No aplica	Posible interrupción por incorrecta gestión	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
		Servicios	F15	Posible interrupción en el suministro de servicios existentes	Posible interrupción en el suministro de servicios existentes	No aplica	Posible interrupción en el suministro de servicios	Posible interrupción en el suministro de servicios	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Posible interrupción en el suministro de servicios	No aplica
	Economía	Nivel de empleo	F16	Requerimiento de personal	Requerimiento de personal	Requerimiento de personal	Requerimiento de personal	Requerimiento de personal	No aplica	Posible requerimiento de mano de obra	Limitación del empleo permanente en	No aplica	Incremento en la demanda	No aplica	Requerimiento de personal	Incremento en la tasa de desempleo	

TABLA 12.5.2: Matriz de Identificación /Fuente: Elaboración propia.

Acciones	Factores	Subfactores	CONSTRUCCIÓN						OPERACIÓN				ABANDONO				
			Transporte de maquinaria pesada y construcción de accesos viales	Montaje de obradores, transporte de materiales y equipo	Limpieza de la zona, excavaciones y otros movimientos de tierra	Obras civiles	Instalación y montaje de equipos	Gestión de residuos de construcción	Puesta en marcha	Operación de la planta	Mantenimiento de las instalaciones	Gestión de lodos	Vaciado y limpieza de instalaciones	Gestión de residuos finales	Desmontaje de equipos e infraestructura	Remediación del sitio, gestión documental y cierre legal	
Factores			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	
Medio físico	Aire	Calidad fisicoquímica	F1														
		Nivel de Material Particulado	F2														
		Nivel sonoro	F3														
	Agua	Calidad fisicoquímica del agua superficial	F4														
		Calidad fisicoquímica del agua subterránea	F5														
	Suelo	Calidad fisicoquímica	F6														
		Calidad edafológica	F7														
		Geomorfología	F8														
Medio biótico	Flora	Autoctona	F9														
		Introducida	F10														
	Fauna	Autoctona	F11														
		Introducida	F12														
Medio socioeconómico	Poblacion	Calidad de vida y salud	F13														
	Desarrollo humano	Infraestructura y accesos	F14														
		Servicios	F15														
	Economia	Nivel de empleo	F16														

TABLA 12.2.5.2: Matriz de Valoración /Fuente: Elaboración propia.

12.3 PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) tiene como finalidad definir un conjunto de acciones orientadas a prevenir, reducir y controlar los impactos ambientales negativos asociados al desarrollo del proyecto. Estos impactos comprenden distintos componentes del entorno, tales como el aire, el agua, el suelo, la flora, la fauna y los aspectos socioeconómicos.

Las medidas contempladas en el plan se agrupan en tres categorías principales:

- Medidas preventivas: Buscan evitar la generación de impactos desde el inicio, mediante decisiones clave en el diseño del proyecto, la selección de materiales, la ubicación y otros aspectos fundamentales.
- Medidas correctivas: Se implementan una vez que los impactos han ocurrido, con el objetivo de atenuarlos o revertirlos. Esto puede implicar cambios en los procesos, incorporación de tecnologías diferentes u otras acciones específicas.
- Medidas compensatorias: Se aplican en casos donde los impactos son inevitables o irreversibles, procurando equilibrar sus efectos a través de intervenciones que compensen el daño causado sobre los elementos afectados del medio.

En base al análisis realizado mediante la matriz de identificación y evaluación de impactos, se han definido estrategias puntuales para cada una de las etapas del proyecto.

12.3.1 MEDIO FÍSICO

Suelo

- Diseñar y usar barreras impermeables en zonas de almacenamiento de químicos y residuos para evitar infiltraciones.
- Implementar un Plan de Manejo de Suelos, con protocolos para retiro, acopio y restitución de capas fértiles.
- Realizar una revegetación progresiva con especies autóctonas en áreas intervenidas, al finalizar cada etapa constructiva.
- Monitorear semestralmente el estado físico-químico del suelo en puntos sensibles del predio y perímetro.
- Evitar movimientos de tierra innecesarios, delimitando las zonas de obra estrictamente necesarias.

Aire

- Regar de caminos no pavimentados y cubrirlos de materiales sueltos para reducir material particulado.
- Controlar y mantener regularmente equipos y vehículos para minimizar emisiones y ruido.
- Usar pantallas acústicas temporales en etapas de mayor generación de ruido (obra civil, desmontaje).
- Monitorear la calidad del aire y niveles de ruido en perímetro y zonas de posible sensibilidad (viviendas cercanas).
- Capacitar al personal en manejo eficiente de combustibles y reducción de emisiones.

Agua

- Impermeabilizar zonas críticas (reactivos, tanques, bombas) para prevenir filtraciones.
- Instalar un sistema de drenaje pluvial y control de escorrentías, especialmente en etapas de obra.

- Monitorear mensualmente la calidad de agua subterránea y superficial (pH, metales, VOCs, DBO, etc.).
- Elaborar un plan de contingencia ante derrames, con materiales absorbentes y protocolos de respuesta rápida.
- Reutilizar aguas internas tratadas, en procesos secundarios o para riego de cortinas vegetales.

12.3.2 MEDIO BIÓTICO

Flora y Fauna

- Delimitar áreas no intervenibles, especialmente en sectores con vegetación natural.
- Controlar periódicamente especies invasoras, evitando su propagación dentro y fuera del predio.
- Plantar especies autóctonas para recuperación paisajística y fortalecimiento de hábitats.
- Restringir trabajos nocturnos, minimizando perturbación a fauna silvestre.
- Sensibilizar ambientalmente al personal y contratistas sobre el cuidado de la biodiversidad local.

12.3.3 MEDIO SOCIOECONÓMICO

Población y Calidad de vida

- Diseñar e implementar un sistema de comunicación con la comunidad (informes, cartelera, reuniones).
- Realizar planes de contingencia y simulacros conjuntos con defensa civil, capacitando al personal y vecinos en zonas aledañas.
- Monitorear la percepción social mediante encuestas periódicas para ajustar medidas de mitigación.
- Realizar un aislamiento físico y visual de la planta, con forestación perimetral que actúe como barrera.
- Atender reclamos y consultas comunitarias con seguimiento documentado

Economía y Desarrollo urbano

- Contratar prioritariamente mano de obra local, con enfoque en igualdad de oportunidades.
- Capacitar a los oficios técnicos y ambientales para el personal operativo y comunidad interesada.
- Mejorar y mantener caminos de acceso compartidos, en acuerdo con municipios.
- Vincular con proveedores y pymes locales, fortaleciendo la economía regional.
- Generar acuerdos con instituciones educativas para prácticas profesionales y visitas técnicas.

CAPÍTULO XIII - HIGIENE Y SEGURIDAD

13.1 HIGIENE Y SEGURIDAD

Toda industria que aspire a operar de manera sostenible y eficiente debe cumplir con la normativa vigente en materia de prevención de riesgos laborales, garantizando condiciones seguras para sus trabajadores. Implementar medidas de higiene y seguridad permite reconocer los peligros inherentes a cada tarea y aplicar estrategias de control que reduzcan la posibilidad de incidentes. Esto no solo resguarda la salud y la integridad del personal, sino que también mejora el rendimiento operativo y disminuye los costos asociados a accidentes.

Un entorno laboral seguro promueve el bienestar del recurso humano y la continuidad de los procesos productivos. Para ello, los marcos legales definen los estándares mínimos de protección, en función de la naturaleza de cada actividad. En Argentina, la normativa que regula esta temática está comprendida principalmente en la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo, su Decreto Reglamentario 351/79, y la Ley 24.557 sobre Riesgos del Trabajo, que establecen responsabilidades compartidas entre empleadores y trabajadores para la prevención de riesgos en el ámbito laboral.

13.1.1 LEY 19.587 DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO - DECRETO REGLAMENTARIO 351/79

La Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo tiene como objetivo garantizar condiciones adecuadas en los lugares de trabajo para proteger la salud y la vida de los trabajadores. Establece obligaciones tanto para los empleadores como para los empleados, promoviendo la prevención de accidentes y enfermedades laborales. La autoridad laboral es responsable de controlar su cumplimiento.

El Decreto Reglamentario 351/79 detalla y regula los aspectos técnicos de la ley, incluyendo requisitos sobre iluminación, ventilación, señalización, almacenamiento de sustancias peligrosas y uso obligatorio de elementos de protección personal. También exige la capacitación del personal y la presencia de profesionales en higiene y seguridad en determinadas empresas.

13.1.2 DECRETO REGLAMENTARIO 351/79 - CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

El Decreto Reglamentario 351/79, en el marco de la Ley 19.587, establece las características constructivas mínimas que deben cumplir los lugares de trabajo para garantizar condiciones seguras e higiénicas. Entre ellas se destacan: la solidez de los edificios, pisos resistentes y antideslizantes, techos y paredes adecuados, iluminación natural y artificial suficiente, ventilación apropiada y condiciones térmicas confortables. También se regula la distribución de espacios, accesos seguros, salidas de emergencia y señalización, buscando prevenir riesgos y proteger la integridad física de los trabajadores.

CONDICIONES GENERALES SANITARIAS Y DE CONSTRUCCIÓN

El Decreto 351/79 establece que todo lugar de trabajo debe cumplir con condiciones sanitarias y constructivas mínimas para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores (Art. 10 a 25). Las instalaciones deben ser sólidas, con pisos firmes, resistentes al uso, antideslizantes y fáciles de limpiar. Las paredes y techos deben estar en buen estado, y los espacios deben permitir una adecuada circulación.

Los establecimientos deben contar con servicios sanitarios (inodoros, lavabos, duchas, vestuarios) en cantidad suficiente, diferenciados por sexo y mantenidos en condiciones higiénicas permanentes. También se exigen comedores y vestuarios cuando la cantidad de personal o el tipo de actividad lo requieran. La disposición física de las áreas debe evitar riesgos de accidentes y facilitar la evacuación ante emergencias.

- RUIDOS

Según el Art. 85 del decreto, los niveles de ruido en los lugares de trabajo no deben superar los 85 decibeles (dB) como valor límite permitido para una jornada de 8 horas. Si se superan estos niveles, el empleador debe implementar medidas de control como aislamiento acústico, mantenimiento de maquinaria, reducción del tiempo de exposición, y en casos necesarios, proporcionar protectores auditivos.

El decreto también recomienda la medición periódica de los niveles sonoros y la evaluación de los posibles daños auditivos mediante exámenes médicos ocupacionales.

- VENTILACIÓN

El decreto establece (Art. 62 a 65) que los ambientes laborales deben contar con sistemas de ventilación natural o mecánica que aseguren una adecuada renovación del aire. Esto es esencial para evitar la acumulación de vapores, gases, humos, polvo o contaminantes que puedan afectar la salud.

En tareas específicas, como soldadura o manipulación de productos químicos, se requiere extracción localizada. Los sistemas de ventilación deben mantener el aire en condiciones que no generen incomodidad térmica ni sobrecarga de humedad.

- ILUMINACIÓN

Los artículos 66 a 71 del Decreto regulan la iluminación en los lugares de trabajo. Se establece que debe ser suficiente y adecuada para la tarea a realizar, evitando zonas de penumbra o exceso de brillo. La iluminación puede ser natural, artificial o mixta, y debe evitar deslumbramientos, sombras intensas y contrastes excesivos que puedan provocar fatiga visual o errores operativos.

Se indican valores mínimos de iluminancia (medidos en lux) para distintos tipos de tareas. Por ejemplo, para tareas generales de oficina se requieren 300 lux, y para trabajos de precisión, 500 lux o más.

Los valores de intensidad de iluminación requeridos para la industria según el tipo de edificio y tarea se basan en la norma IRAM-AADL J 20-06, de acuerdo con lo establecido en la legislación correspondiente, en la tabla 69.

Sector	Lux
Planta de procesamiento	
Circulación general	100
Iluminación general sobre escaleras y pasarelas	200
Depósito, almacenes y salas de empaque	
Piezas grandes	100
Piezas pequeñas	200
Expedición de mercadería	300
Talleres de montaje	
Trabajo grueso: montaje de máquinas pesadas	200
Trabajo fino: iluminación localizada	1200
Máquinas, herramientas y bancos de trabajo	
Iluminación general	300
Trabajo de piezas pequeñas en banco o máquina, rectificación de piezas medianas, fabricación de herramientas, ajuste de máquinas	500
Soldadura	300
Trabajos superficiales sobre meales	300
Laboratorio de ensayos y control	
Iluminación general	400
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
Oficinas	
Contaduría, lectura, trabajos especiales, etc.	500-700

TABLA 13.1.2: Intensidad de iluminación requerida para el trabajo en la industria /Fuente - Norma IRAM AADL J 20-06.

13.1.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Según el Art. 70 y 72 a 75, el empleador está obligado a proporcionar, sin costo, los elementos de protección personal adecuados al tipo de riesgo. Estos deben ser de uso obligatorio cuando no sea posible eliminar el riesgo por medios técnicos o administrativos.

Algunos EPP contemplados incluyen: cascos, guantes, anteojos de seguridad, protectores auditivos, calzado de seguridad y ropa ignífuga o química, entre otros. Deben cumplir con normas IRAM o internacionales, mantenerse en buen estado, y los trabajadores deben recibir capacitación sobre su correcto uso, colocación y mantenimiento.

13.1.4 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL

En los artículos 115 a 139, el decreto indica que toda maquinaria, instalación o equipo debe contar con dispositivos de seguridad industrial que minimicen riesgos mecánicos, eléctricos, térmicos, químicos, etc.

Entre los elementos obligatorios se incluyen: protectores de partes móviles, paradas de emergencia, dispositivos de enclavamiento, señalización de zonas peligrosas, alarmas sonoras y visuales, y sistemas automáticos de control y corte ante fallas. Además, deben realizarse mantenimientos periódicos, y todo el personal involucrado debe estar capacitado para operar de forma segura.

Las protecciones de los distintos equipos deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- Estar diseñadas para ser eficaces en la mitigación del riesgo
- Ser construida con materiales resistentes
- Permitir el desplazamiento para ajustar y reparar, si es necesario
- Permitir la supervisión y el mantenimiento de la maquinaria sin comprometer la seguridad del operario

- Impedir el movimiento no accidental, ya sea en su operación o en caso de desmontaje si existe movimiento de la misma debe ser intencional.

13.2 MANIPULACIÓN DE EQUIPOS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN - INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

Es fundamental leer y comprender los manuales de instalación, operación y mantenimiento de los equipos utilizados en las plantas de tratamiento de efluentes. En ausencia de estos, se deben aplicar guías de manejo seguro. Es imprescindible prestar atención a los avisos de advertencia (riesgos para el personal) y de cuidado (riesgos para los equipos).

Para la protección personal, se deben seguir normas básicas: evitar el uso de objetos sueltos, utilizar guantes y contar con elementos de primeros auxilios y extintores. Solo personal autorizado y capacitado debe operar la maquinaria, restringiendo el acceso a personas no especializadas y usando EPP ante ruidos elevados.

En cuanto a la protección de los equipos, se deben seguir prácticas que garanticen su funcionamiento seguro: evitar reparaciones por personal no técnico, asegurar el correcto estado del cableado, no remover dispositivos de seguridad, y verificar el estado de la conexión eléctrica antes de encender los equipos. El área de Higiene y Seguridad debe identificar riesgos y diseñar planes de prevención, acción y mitigación adaptados a cada proceso.

13.3 EQUIPOS EXTINTORES, SEÑALIZACIÓN Y SISTEMAS DE ALARMAS

La normativa vigente establece criterios específicos para la ubicación, cantidad, señalización y uso de extintores, así como la implementación de sistemas de alarma en función de los riesgos presentes en cada planta. Estas medidas tienen como objetivo principal proteger la integridad física del personal y los equipos, garantizando una respuesta rápida y eficaz ante situaciones de emergencia.

Cantidad y ubicación de extintores: Se debe instalar al menos un extintor cada 200 m² de superficie protegida. La cantidad y tipo dependerá de:

- El nivel de riesgo
- La carga de fuego.
- Las clases de incendio posibles.
- La distancia máxima a recorrer para acceder a ellos

Clases de fuego según el tipo de material combustible

- Clase A: Materiales sólidos combustibles (madera, papel, telas, caucho, plásticos).
- Clase B: Líquidos inflamables, grasas, pinturas, ceras, gases.
- Clase C: Equipos y materiales bajo tensión eléctrica.
- Clase D: Metales combustibles (magnesio, sodio, titanio, potasio)

Distancia máxima de acceso a extintores

- 20 metros para incendios de Clase A
- 15 metros para incendios de Clase B

Señalización de extintores

- Mediante chapa baliza con franjas rojas y blancas de 10 cm de ancho, inclinadas 45° respecto a la horizontal.
- La señal debe colocarse entre 1,20 m y 1,50 m de altura desde el nivel del piso.
- Debe ser visible y estar libre de obstáculos.

Sistemas de alarma

- Deben contar con señales acústicas diferenciadas según el tipo de riesgo (fuego, fuga, emergencia general, etc.)
- Al activarse una alarma, se debe seguir el protocolo de seguridad interno previamente establecido.
- Todo el personal debe estar capacitado para reconocer las alarmas y saber cómo actuar ante cada tipo de señal.

13.4 MANEJO DE REACTIVOS

El manejo de reactivos en la planta debe realizarse bajo los protocolos de seguridad correspondientes, considerando sus propiedades químicas, los riesgos asociados y las medidas correspondientes de manipulación para evitar incidentes.

13.4.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Sulfato de aluminio (8% p/p)

- Toxicidad: Baja toxicidad aguda; sin embargo, puede causar irritación en contacto con tejidos vivos.
- Contacto dérmico: Puede provocar irritación en la piel.
- Inhalación: La inhalación de polvo o aerosoles puede irritar las vías respiratorias.
- Ingestión: Puede causar molestias gastrointestinales si se ingiere en grandes cantidades.
- Incendio y explosiones: No es inflamable ni explosivo.
- Impacto ambiental: En altas concentraciones, puede afectar la vida acuática al alterar el pH del agua.

Hidróxido de sodio (50% p/p)

- Toxicidad: Altamente corrosivo; puede causar quemaduras severas en contacto con tejidos vivos.
- Contacto dérmico: Provoca quemaduras graves; requiere enjuague inmediato con abundante agua.
- Inhalación: Los vapores pueden irritar las vías respiratorias; la exposición prolongada puede causar daño pulmonar.
- Ingestión: Extremadamente peligroso; puede causar quemaduras en la boca, garganta y estómago.
- Incendio y explosiones: No es inflamable, pero reacciona violentamente con agua y ácidos, liberando calor.
- Impacto ambiental: Altamente alcalino; puede causar daños significativos a organismos acuáticos y alterar el pH del agua

Polímero Lipesa 1569-A (90% p/p)

- Toxicidad: Generalmente baja; sin embargo, la toxicidad específica depende de la composición exacta del polímero.
- Contacto dérmico: Puede causar irritación leve en piel sensible.
- Inhalación: La inhalación de polvo puede irritar las vías respiratorias.
- Ingestión: No se recomienda; puede causar molestias gastrointestinales.

- Incendio y explosiones: Puede ser combustible; se recomienda almacenar lejos de fuentes de ignición.
- Impacto ambiental: Dependiendo de su biodegradabilidad, puede persistir en el medio ambiente; se recomienda evitar su liberación en cuerpos de agua.

Hipoclorito de sodio (10% p/p)

- Toxicidad: Moderada; puede causar irritación en contacto con tejidos vivos.
- Contacto dérmico: Puede causar irritación o quemaduras en la piel.
- Inhalación: Los vapores pueden irritar las vías respiratorias; la mezcla con ácidos libera gas cloro, que es tóxico.
- Ingestión: Puede causar náuseas, vómitos y daño gastrointestinal.
- Incendio y explosiones: No es inflamable, pero puede liberar gases tóxicos al descomponerse o al mezclarse con otros químicos.
- Impacto ambiental: Tóxico para organismos acuáticos; puede causar daños significativos si se libera en cuerpos de agua

13.4.2 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Sulfato de aluminio (8% p/p)

El sulfato de aluminio debe manipularse con guantes y protección ocular para evitar el contacto con la piel y los ojos, ya que puede causar irritación. Es importante trabajar en áreas bien ventiladas para evitar la inhalación de aerosoles. Debe almacenarse en envases plásticos resistentes, bien cerrados y en lugares frescos, secos y ventilados, lejos de sustancias incompatibles como álcalis fuertes. Se recomienda mantenerlo protegido de temperaturas extremas y fuentes de contaminación.

Hidróxido de sodio (50% p/p)

La solución de hidróxido de sodio es altamente corrosiva, por lo que debe manipularse con guantes resistentes a productos químicos, gafas de seguridad y ropa de protección. Se debe evitar el contacto con la piel y los ojos, así como su inhalación. Al almacenarlo, se requiere un recipiente hermético de plástico o acero inoxidable, en un área fresca, seca, ventilada y con acceso restringido. Debe mantenerse alejado de ácidos, materiales orgánicos y fuentes de humedad, ya que puede reaccionar violentamente.

Polímero Lipesa 1569-A (90% p/p)

Este polímero debe manipularse con guantes y protección ocular para evitar el contacto directo con la piel y los ojos. Aunque su toxicidad es baja, puede generar polvo que irrita las vías respiratorias, por lo que es importante trabajar en lugares ventilados. El producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, en un lugar fresco y seco, alejado de fuentes de calor, humedad y materiales incompatibles. Se recomienda evitar su exposición prolongada al aire o la luz solar directa para conservar sus propiedades.

Hipoclorito de sodio (10% p/p)

El hipoclorito de sodio debe manipularse con protección adecuada para ojos, piel y vías respiratorias, ya que es irritante y puede liberar vapores peligrosos, especialmente en contacto con ácidos. Se debe utilizar en áreas ventiladas y nunca mezclarlo con otros productos sin conocimiento previo. Debe almacenarse en envases de plástico opacos, bien cerrados, en lugares frescos y alejados de la luz solar directa y fuentes de calor, ya que se descompone liberando cloro. También debe mantenerse separado de ácidos, amoníaco y materiales orgánicos.

13.4.3 PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES

Sulfato de aluminio (8% p/p)

En caso de derrame, usar guantes, gafas de seguridad y ropa de protección. Contener el líquido derramado con material absorbente inerte (arena, tierra, vermiculita). Recoger el material y colocarlo en un recipiente adecuado para su disposición. Lavar la zona afectada con abundante agua, evitando el ingreso del residuo a desagües o cuerpos de agua. Ventilar el área durante el procedimiento.

Hidróxido de sodio (50% p/p)

Ante un derrame, evacuar al personal no capacitado y ventilar el área. Utilizar equipo de protección completo: guantes resistentes a químicos, gafas, mascarilla y ropa impermeable. Neutralizar cuidadosamente con un ácido débil (por ejemplo, vinagre diluido), si es seguro hacerlo. Absorber con material inerte seco y colocar en un recipiente etiquetado para residuos peligrosos. Lavar la zona con abundante agua. Evitar el contacto con metales, ácidos o fuentes de calor durante la limpieza.

Polímero Lipesa 1569-A (90% p/p)

En caso de derrame, evitar levantar polvo. Usar guantes, gafas y mascarilla si hay riesgo de inhalación. Cubrir el producto con material absorbente inerte (arena o aserrín seco), barrer suavemente y recoger en recipientes adecuados para su eliminación. No verter a drenajes ni cursos de agua. Ventilar bien el área afectada y limpiar con agua y detergente si es necesario.

Hipoclorito de sodio (10% p/p)

En caso de derrame, usar protección para ojos, piel y vías respiratorias. Ventilar el área. Contener el líquido con material absorbente no combustible. Evitar que el hipoclorito entre en contacto con ácidos u otros productos químicos. Recoger el residuo en recipientes plásticos adecuados y enjuagar el área con agua abundante. No verter en desagües sin neutralización previa, ya que puede ser tóxico para organismos acuáticos.

13.5 CONCLUSIÓN

El manejo de reactivos en la planta exige una gestión cuidadosa que se base en la evaluación de riesgos, prácticas adecuadas de almacenamiento y la aplicación de procedimientos específicos ante posibles incidentes. Cada producto químico utilizado posee propiedades particulares que requieren medidas diferenciadas de seguridad durante su manipulación y disposición, con el objetivo de proteger tanto al personal como al entorno.

Para reducir los riesgos asociados, es fundamental contar con un plan de contingencia bien definido, que contemple acciones inmediatas frente a derrames, exposiciones accidentales o liberación de sustancias peligrosas. Este plan debe ir acompañado de la formación continua del personal en el uso correcto del equipo de protección personal (EPP), la identificación de sustancias incompatibles y la disponibilidad de materiales absorbentes y contenedores adecuados.

Además, se debe asegurar la presencia de sistemas de ventilación apropiados, estaciones de emergencia como duchas y lavajos, y procedimientos claros para el tratamiento de residuos peligrosos. La revisión periódica y mejora de estas medidas no solo asegura el cumplimiento de normativas vigentes, sino que también contribuye a crear un ambiente de trabajo seguro, eficiente y comprometido con la sostenibilidad.

CAPÍTULO XIV - EVALUACIÓN ECONÓMICA

14.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se desarrolla la evaluación económica del proyecto con el propósito de analizar su viabilidad financiera. Para ello, se recurre a herramientas clásicas de análisis de inversiones, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), que permiten valorar el proyecto considerando el efecto del tiempo sobre el valor del dinero. Aunque este tipo de infraestructura, como una planta de tratamiento de efluentes, suele tener una vida útil cercana a los 20 años, se ha optado por respetar el criterio establecido en la Resolución 175/2004 de la Secretaría de Política Económica, que sugiere limitar el horizonte de proyección a un máximo de 10 años.

El análisis incluirá la determinación de la tasa de descuento, la estimación del flujo de caja anual, el cálculo del capital requerido y los costos operativos, así como la evaluación de los principales indicadores económicos.

Además, se incorporará un análisis de sensibilidad para identificar cómo afectan posibles variaciones en las variables críticas sobre los resultados económicos obtenidos, permitiendo establecer márgenes de seguridad y condiciones de riesgo.

Todas las proyecciones se expresan en dólares estadounidenses (USD), con el objetivo de evitar distorsiones vinculadas a la inflación local. Para ello, se adopta un tipo de cambio de referencia de \$1.200/USD, según el valor publicado por el Banco de la Nación Argentina (BNA) a la fecha del estudio.

14.2 TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento, también conocida como costo de capital, es un parámetro clave en la evaluación financiera de proyectos, ya que permite estimar el valor presente de los flujos futuros de fondos. Para llevar adelante el análisis económico de este proyecto, es necesario definir este valor desde el inicio.

Para ello, se ha adoptado el modelo de fijación de precios de activos financieros (CAPM, por sus siglas en inglés), una herramienta basada en la teoría del equilibrio del mercado de capitales. Este modelo permite calcular una tasa de descuento que refleje adecuadamente el riesgo asociado a la inversión y posibilite la actualización de los montos monetarios a un mismo momento en el tiempo.

La fórmula aplicada es la siguiente:

$$r = Rf + (Rm - Rf) * \beta + Rp$$
$$r = 5 + (10 - 5) \cdot 0,92 + 7,62 = 17,22\%$$

Donde:

- Rf: tasa libre de riesgo, estimada en un 5 %, correspondiente al rendimiento de los bonos del Tesoro de EE.UU. a 15 años.
- Rm: rentabilidad promedio del mercado estadounidense, tomada como 10 %.

- β : coeficiente beta del proyecto, que mide su volatilidad relativa frente al mercado. Se adopta un valor de 0,92, correspondiente al sector “Environmental & Waste Services” según Stern NYU.
- Rp: prima por riesgo país, que incorpora la incertidumbre de invertir en Argentina. Según datos de ámbito.com (marzo 2025), equivale a 762 puntos básicos, es decir, 7,62 %.

Este resultado representa la tasa mínima de rendimiento que el proyecto debería generar para considerarse rentable, y será utilizada en los siguientes apartados para actualizar los flujos de caja y calcular indicadores clave como el VAN y la TIR.

14.3 ESTRUCTURA DE COSTOS

14.3.1 INVERSIÓN INICIAL

Los costos de inversión inicial comprenden todas las erogaciones necesarias para que la planta de tratamiento de efluentes esté en condiciones de comenzar a operar. Esta etapa representa el mayor desembolso económico del proyecto, ya que contempla todos los recursos requeridos para su implementación y puesta en marcha.

De forma general, estas inversiones pueden agruparse en tres categorías:

1. Costos diferidos: Incluyen aquellos gastos vinculados a servicios esenciales para la legalización y gestión del proyecto, tales como permisos ambientales, registros, asesoramiento técnico, estudios preliminares, planificación, supervisión y administración general.
2. Activos de capital: Corresponden a los bienes, tangibles e intangibles, adquiridos para construir y operar la planta. Dentro de esta categoría se contemplan las obras civiles, equipos, instalaciones, infraestructura, software, y otros recursos necesarios para el funcionamiento.
3. Costo del servicio: Hace referencia al monto que debe asumir la empresa contratante en concepto del pago por el servicio de tratamiento de efluentes, incluyendo los costos involucrados en el diseño, montaje y entrega operativa de la planta.

Estos tres componentes son fundamentales para la constitución y operatividad de la planta, representando una inversión significativa destinada a garantizar su correcto funcionamiento desde el inicio.

La inversión inicial, teniendo en cuenta los costos diferidos y los activos de capital, asciende a **USD 549797,4**.

14.3.1.1 COSTOS DIFERIDOS

14.3.1.1.1 REQUISITOS NORMATIVOS Y HABILITACIONES

Independientemente de si la compra del terreno implica o no una erogación directa, es imprescindible considerar una serie de trámites y gestiones necesarias para su utilización legal y operativa. Estos trámites, de carácter administrativo y regulatorio, representan un conjunto de costos que deben contemplarse dentro de la inversión inicial del proyecto.

Entre los principales requisitos se encuentran:

- Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Consiste en una evaluación técnica que analiza los posibles efectos del proyecto sobre el ambiente, proponiendo medidas de mitigación adecuadas. Aunque en muchos casos la planta de tratamiento puede integrarse dentro de la DIA de un proyecto industrial mayor, en este caso se opta por considerarla de forma individual, ya que es relevante como parte del presente desarrollo. Para su estimación se ha utilizado como base un presupuesto adaptado de la cátedra *Estudios y Auditorías Ambientales – 2024*.
- Licencia de funcionamiento: Es el permiso formal que habilita a la planta a operar legalmente. Debe renovarse periódicamente y su costo depende tanto del marco legal vigente como de la envergadura de la instalación.
- Controles de seguridad e higiene laboral: Exigidos por la legislación, aseguran que el personal trabaje en condiciones adecuadas. El costo de estas inspecciones varía según el tamaño de la planta y las normativas locales.
- Tributos, tasas y permisos específicos: Incluyen tasas municipales, impuestos provinciales, derechos de uso y permisos de vuelco al sistema hídrico, cuyo valor dependerá de la ubicación y características del predio.

A excepción del costo asociado a la DIA, se considera que estos gastos representan aproximadamente un 4% del total de los activos fijos del proyecto, excluyendo inmuebles y vehículos. Este valor se toma como referencia de la *Tabla 4 – Typical percentages of fixed-capital investment values for direct and indirect cost segments for multipurpose plants or large additions to existing facilities*.

14.3.1.1.2 SERVICIOS ESENCIALES

Dentro de los costos diferidos, se incluyen también aquellos servicios fundamentales para la correcta ejecución, coordinación y puesta en funcionamiento de la planta, excluyendo aquellos asociados a permisos y habilitaciones legales.

Se consideran esenciales los siguientes componentes:

- Planificación e integración del proyecto: comprende la organización general del desarrollo del proyecto, desde sus etapas preliminares hasta la integración operativa. Se estima un costo equivalente al 0,3% de la inversión total en activos de capital.
- Ingeniería de detalle: incluye el diseño técnico y específico de los procesos, equipos y sistemas necesarios para el funcionamiento de la planta. Su costo se calcula como el 0.35% del valor total de los equipos principales de planta.
- Supervisión técnica: contempla la inspección y control del desarrollo de obra y montaje de los equipos, asegurando que se ejecuten según lo previsto. Requiere una inversión del 0,15% sobre el capital destinado a activos de capital.
- Administración del proyecto: refiere a la gestión general del proyecto, incluyendo logística, gestión de contratistas, compras y seguimiento. Se estima en un 0,5% del capital invertido en activos de capital.
- Puesta en marcha: contempla la etapa de arranque inicial del sistema y la verificación del correcto funcionamiento de todos los componentes. Este ítem representa el 2% del valor total de los equipos de planta.

El valor base considerado para calcular estos porcentajes corresponde al activo total del proyecto, ya depurado de los componentes no aplicables (como inmuebles o vehículos), y será detallado a continuación.

ACTIVO TOTAL DEL PROYECTO	
Item	Valor (USD)
Terrero	0,0
Edificio e Instalaciones	123960,0
Equipos y Accesorios Instalados	325685,9
Depositos Instalados	22530,0
Total	472175,9

TABLA 14.3.1.1.2: Activos Totales del Proyecto /Fuente: Elaboración propia.

COSTOS DIFERIDOS		
Adquisición (USD)	Cantidad	Total (usd)
EIA	1,0000	5000,0
Impuestos y Otros	0,0500	9503,9
Planeacion e Integracion del Proyecto	0,0030	1416,5
Ingenieria del Proyecto	0,0035	665,3
Supervision del Proyecto	0,0015	708,3
Administracion del Proyecto	0,0050	2360,9
Puesta en Marcha del Proyecto	0,0200	3801,6
Total	-	23456,4

TABLA 14.3.1.1.2: Costos Diferidos del Proyecto / Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la inversión en costos diferidos **será de USD 23456,4**.

14.3.1.2 ACTIVOS DE CAPITAL

Una parte importante en la ejecución del proyecto es la asignación de recursos en dos etapas principales:

1. Instalación y montaje: Incluye todas las actividades necesarias para la construcción, ensamblaje y puesta en marcha de la planta.
2. Operación y funcionamiento: Corresponde a la fase en la que la planta entra en actividad y se inicia la producción.

La estimación del valor de los activos necesarios para determinar la inversión total se basa en diversos factores, como la distribución de la planta, las dimensiones y el rendimiento de la maquinaria, así como los costos asociados a edificios, equipos complementarios y otros elementos esenciales para su correcto funcionamiento.

14.3.1.2.1 TERRENO

En este proyecto no se contempla la adquisición de terreno como parte de los costos de inversión inicial. Esto se debe a que la planta industrial de producción de PVC, ubicada en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca, ya dispone del espacio físico necesario para la instalación de la planta de tratamiento de efluentes. Dado que se trata de una infraestructura complementaria al proceso principal y emplazada dentro del predio existente, no se requiere una erogación adicional por este concepto.

14.3.1.2.2 EDIFICIOS E INSTALACIONES

Para garantizar una operación adecuada, segura y eficiente del sistema de tratamiento de efluentes, se han contemplado ciertas edificaciones e instalaciones básicas indispensables. Entre ellas se encuentran el espacio destinado al almacenamiento de reactivos utilizados en el proceso, una oficina de operación para el monitoreo y gestión diaria de la planta, y la correspondiente instalación eléctrica.

La determinación de estas áreas se realizó en función de las necesidades operativas, asegurando una distribución racional del espacio y cumpliendo con los requisitos mínimos de funcionalidad y seguridad. A continuación, se presenta un resumen de los costos asociados a cada uno de estos ítems:

EDIFICIOS E INSTALACIONES			
Sector	Costo (USD/m ²)	Cantidad (m ²)	Total (USD)
Almacenamiento de reactivos	600	100	60.000
Oficina de operación	600	100	60.000
Instalación eléctrica	-	-	3.960
Total	-	200	123.960

TABLA 14.3.1.2.2: Costos de Edificios e Instalaciones /Fuente: Elaboración propia.

Como se logra ver se ha incluido el costo de la instalación eléctrica haciendo uso del factor tomado para este tipo de industrias. Ver sección "Equipos, accesorios e instalaciones" más adelante para más detalles.

14.3.1.2.3 EQUIPOS, ACCESORIOS Y ADECUACIONES

El apartado correspondiente a equipos, accesorios y adecuaciones representa uno de los componentes más relevantes dentro de la inversión en capital fijo. Este rubro incluye la adquisición de todos los equipos indispensables para asegurar el funcionamiento adecuado de la planta, bajo modalidad "libre a bordo" (FOB). En este tipo de operación, los gastos asociados al traslado corren por cuenta del comprador, y dependerán de factores como el peso y volumen de los equipos, la distancia desde el proveedor y el tipo de transporte utilizado.

Los montos correspondientes a la compra de maquinaria ya han sido definidos en secciones anteriores del presente informe. No obstante, a estos valores debe sumarse la inversión asociada a las instalaciones complementarias necesarias para poner en marcha el sistema completo de tratamiento de efluentes.

Para este fin, se ha recurrido a los factores de corrección propuestos por Peter & Timmerhaus en su metodología de análisis económico orientada a proyectos de ingeniería química. Estos coeficientes permiten estimar, en forma proporcional al costo de los equipos, los gastos adicionales vinculados a adecuaciones del terreno, sistemas eléctricos, tuberías, instrumentación, y demás servicios auxiliares indispensables.

A continuación, se detallan los factores empleados en este análisis, los cuales se tomaron de la Tabla 17 – "Ratio factors for estimating capital-investment items based on delivered equipment cost", correspondiente al caso de una planta de procesamiento de fluidos:

- Factor de instalación de equipos.
- Factor de instalación de tuberías.
- Factor de instalación eléctrica.
- Factor de instrumentación y control.
- Factor de adecuaciones del terreno.

Factor	Planta de procesamiento de fluidos (%)
Costo de instalación de equipos	47%
Costo de instalación de tuberías	66%
Costo de instalación eléctrica	11%
Costo de instrumentación y control	18%
Costo de adecuación del terreno	10%

TABLA 14.3.1.2.3: Factores de estimación basados en el costo del equipo entregado /Fuente: Metodología de análisis económico orientada a proyectos de ingeniería Peter & Timmerhaus.

A continuación, se presenta el detalle de los costos en equipos, accesorios y adecuaciones necesarias.

EQUIPOS, ACCESORIOS E INSTALACION						
	Especificación	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	Costo Instalado (USD)	
EQUIPOS PRINCIPALES	TE1	1	5335	5335	7842,45	
	TA1	1	2244	2244	3298,68	
	IC1	1	13542	13542	19906,74	
	CO1	1	52094	52094	76578,18	
	PS1	1	17000	17000	24990	
	NE1	1	8120	8120	11936,4	
	RB1	1	9300	9300	13671	
	SE1	1	3170	3170	4659,9	
	TD1	1	8000	8000	11760	
	PL1	1	2500	2500	3675	
	DF1	1	8000	8000	11760	
EQUIPOS AUXILIARES	B-A1	2	1300	2600	3822	
	B-TE1	2	1350	2700	3969	
	B-TA1	2	1300	2600	3822	
	B-IC1	2	1300	2700	3969	
	B-CO1	2	1300	2600	3822	
	B-PS1	2	1300	2700	3969	
	B-D1	2	700	2600	3822	
	B-NE1	2	1300	2700	3969	
	B-D2	2	350	2600	3822	
	B-D3	2	350	2700	3969	
	B-D4	2	350	2600	3822	
	B-RB1	2	1300	2700	3969	
	B-SE1	2	1300	2600	3822	
	B-B1	2	1350	2700	3969	
	B-B2	2	1350	2600	3822	
	B-PS2	2	1350	2700	3969	
	B-DF1	2	1300	2600	3822	
	S/E (Valvulas y otros)	-		34214,103		
	Tuberias e Instalacion	-		125451,711		
OTROS	Instalacion Electrica	-		20908,6185		
	Adecuacion del Terreno	-		19007,835		
TOTAL (USD)	Todos	-		455810,6175		

TABLA

Equipos, Accesorios y su Instalación / Fuente: Elaboración propia.

14.3.1.2.3:

14.3.1.2.4 MUEBLES, TECNOLOGÍA Y RODADOS

Se va a tener en cuenta:

a. Un rodado en caso de que el predio sea muy grande. Este se comprará al siguiente fabricante [NF4x2] y su costo es de USD 35000.

b. Un autoelevador para el movimiento de reactivos. Modelo Japonés Isuzu C240, cuyo costo es de USD 18.200.

El resto de los equipos consiste en escritorios, ordenadores, sillas, mesas, armarios y otros. Téngase en cuenta que el valor de estos elementos no se ha detallado y se ha tomado el valor promedio de cada uno en el mercado.

A continuación, se indican los costos estimados:

RODADOS			
Item	Cantidad	Costo Unitario (USD/unidad)	Costo Total (USD)
Camionetas	1	35000	35000
Autoelevadores	1	18200	18200
Total	-	53200	

TABLA 14.3.1.2.4: Costos de Rodados /Fuente: Elaboración Propia.

MUEBLES, TECNOLOGIA, OTROS			
Item	Cantidad	Costo Unitario (USD/unidad)	Costo Total (USD)
Escritorio	2	100	100
Ordenador	2	500	500
Silla	2	50	50
Mesa	2	150	150
Armario	2	120	120
Otros	5%	-	46
Total	-	966	

TABLA 14.3.1.2.4: Costos de Muebles, Tecnología, Otros /Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, la inversión en activos de capital será de **USD 633936,6175**.

ACTIVOS DE CAPITAL	
Total (USD)	633936,6175

TABLA 14.3.1.2.4: Activos de Capital /Fuente: Elaboración Propia.

14.3.1.3 COSTO DEL SERVICIO

Para poder determinar el costo del servicio o utilidad sobre costos se tiene en cuenta el sector en el cual se está desarrollando el proyecto, los costos internos que debe afrontar la empresa que lleva a cabo dicho proyecto, etc.

Según se indica en la sección 8.3.3 el valor de venta de un proyecto de mediana envergadura es de **USD 188750**.

COSTOS DEL SERVICIO	
Total (USD)	188750

TABLA 14.3.1.3: Costos del Servicio /Fuente: Elaboración Propia.

14.3.1.4 INVERSION INICIAL TOTAL

La inversión necesaria para llevar a cabo un proyecto de esta envergadura corresponde a la suma de los costos fijos y variables de inversión. Esta combinación da como resultado una inversión total estimada como se presenta a continuación:

COSTOS FIJOS DE INVERSION	847379,2175
COSTOS VARIABLES DE INVERSION	10188,69709
INVERSION TOTAL	857567,9146

TABLA 14.3.1.4: Inversión Inicial Total /Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta la categorización de los costos según condición de fijos y variables:

Ítem	Categoría
Estudio de Impacto Ambiental	Fijo
Impuestos y otros	Fijo
Planeación e integración del proyecto	Variable
Ingeniería del proyecto	Variable
Supervisión del proyecto	Variable
Administración del proyecto	Variable
Puesta en marcha del proyecto	Variable
Terreno	Fijo
Edificios e instalaciones	Fijo
Equipos	Fijo
Rodados	Fijo
Muebles y depósitos	Fijo
Costo del servicio	Fijo

TABLA 14.3.1.4: Clasificación de Costos /Fuente: Elaboración Propia.

14.3.2 CRONOGRAMA DE INVERSIONES

El cronograma de inversiones representa la organización temporal de los desembolsos necesarios para ejecutar el proyecto, distribuidos por concepto y agrupados por unidad de tiempo. En este caso, se utilizarán períodos mensuales dentro del primer semestre del año. Esta herramienta permite identificar con claridad los momentos clave en los que se realizarán las erogaciones, facilitando la evaluación del impacto financiero asociado.

Dado el tipo de proyecto —una planta de tratamiento de efluentes para servicio externo— y sus características constructivas y operativas, se estima conveniente que la inversión total se ejecute en el transcurso de los primeros seis meses del año 1.

El detalle propuesto es el siguiente:

- Mes 1
Se realiza el inicio formal del proyecto. Si bien no se contempla la compra del terreno,

ya que el espacio es provisto por la empresa contratante en el predio industrial existente, durante este mes se prevé el desembolso inicial correspondiente a costos diferidos tales como permisos, habilitaciones y estudios técnicos preliminares.

- **Meses 2 a 5**
En este período se ejecuta la construcción de las instalaciones físicas necesarias para el funcionamiento de la planta, como depósitos de reactivos y oficina operativa, así como también la adquisición de los equipos principales y auxiliares. Ambos rubros presentan una distribución uniforme de gastos a lo largo de estos cuatro meses.
- **Mes 6**
Se destina este mes al pago de ítems complementarios como la puesta en marcha, pequeñas adecuaciones finales, instalaciones eléctricas, y otros elementos menores necesarios para iniciar la operación. También se abona la instalación de equipos y accesorios pendientes.

Dado que la inversión no se realiza en un único momento, sino en distintos meses, resulta necesario calcular su valor presente al momento cero del proyecto. Para ello se procede a actualizar cada uno de los desembolsos mensuales utilizando una tasa de descuento mensual equivalente, obtenida a partir de la tasa de descuento anual establecida para el análisis económico.

Esta tasa se calcula mediante la expresión:

$$im = (1 + r)^{\frac{1}{12}} - 1 = 0,013 \text{ o } 1,33\%$$

En el presente caso, se utiliza una tasa de descuento anual del 17%, lo que equivale a una tasa mensual de aproximadamente 1,33%.

Con este valor se actualizan los desembolsos programados para cada mes del cronograma, permitiendo obtener el valor presente de la inversión total inicial, considerando el momento específico de cada erogación.

Obtenemos así un **valor de inversión de USD 757.966,82.**

INVERSIONES		MES						TOTAL
Item	Costos (USD/mes)	1	2	3	4	5	6	-
Edificios e Instalaciones	\$ 123.960	-	\$ 30.990	\$ 30.990	\$ 30.990	\$ 30.990	-	-
Equipos	\$ 455.810,62	-	\$ 113.952,66	\$ 113.952,66	\$ 113.952,66	\$ 113.952,66	-	-
Rodados	\$ 53.200	-	-	-	-	-	\$ 53.200	-
Muebles	\$ 966	-	-	-	-	-	\$ 966	-
Costos Diferidos	\$ 19.654,85	\$ 19.654,85	-	-	-	-	-	-
Puesta en Marcha	\$ 3.801,60	-	-	-	-	-	\$ 3.801,60	-
Costo del Servicio	\$ 188.750	-	-	-	-	-	\$ 188.750	-
Flujo de Caja	-	\$ 19.654,85	\$ 144.942,66	\$ 144.942,66	\$ 144.942,66	\$ 144.942,66	\$ 246.717,60	\$ 846.143,07
Flujo de Caja Real	-	\$ 21.276,39	\$ 154.841,16	\$ 152.808,81	\$ 150.803,12	\$ 148.823,77	\$ 249.998,94	\$ 878.552,20

TABLA 14.3.2: Cronograma de Inversiones /Fuente: Elaboración propia.

14.3.3 COSTOS FIJOS

14.3.3.1 COSTOS FIJOS POR DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES

Tanto la depreciación como la amortización representan mecanismos contables que reflejan la pérdida de valor económico de los activos a lo largo del tiempo. La principal distinción entre ambos conceptos radica en la naturaleza del bien: mientras que la depreciación se aplica a activos tangibles, la amortización corresponde a activos intangibles. En cada caso, los porcentajes aplicables están regulados normativamente, en función del tipo de bien considerado.

Se considera un horizonte de evaluación de 15 años. Esto se ha determinado así según las siguientes recomendaciones.

- Para plantas modulares, pensadas como soluciones transitorias o futuros cambios, los horizontes de evaluación suelen ser de 10 años.
- Para plantas de gran escala, donde los costos de inversión son mucho más grandes, se estiman horizontes de 20 años.

Ítem	Valor (US\$)	Vida útil (años)	Depreciación anual (US\$/año)	Depreciación total (US\$/15 años)	Valor residual (US\$)
Edificios e instalaciones	123.960,00	25	4.958,40	74.376,00	49.584,00
Equipos	455.810,62	10	45.581,06	325.685,85	0,00
Rodados	53.200,00	8	6.650,00	53.200,00	0,00
Muebles y otros	966,00	10	96,60	966,00	0,00
Total	503.811,85	-	57.286,06	454.227,85	49.584,00

TABLA 14.3.3.1: Depreciaciones /Fuente: Elaboración propia.

Ítem	Valor (US\$)	Períodos (años)	Amortización anual (US\$/año)	Amortización total (US\$)	Valor residual (US\$)
Costos diferidos	19.654,85	3	6.551,62	19.654,85	0
Total	19.654,85	-	6.551,62	19.654,85	0

TABLA 14.3.3.1: Amortizaciones /Fuente: Elaboración propia.

14.3.3.1 VALOR RESIDUAL

Si bien en las tablas anteriores se indica un valor de desecho por la suma de **USD 49584** a los fines de la evaluación se ha considerado dicho valor nulo; esto se ha planteado desde un punto de vista conservador.

14.3.3.2 COSTOS FIJOS DE MANO DE OBRA

Los costos de mano de obra fija están constituidos por el salario de los operarios y ya se han indicado con anterioridad, en la sección 8.4.3.

Se detallará a continuación sólo su valor neto anual, este es de **USD 145500**.

14.3.3.3 COSTOS FIJOS DE SERVICIOS

Se considera dentro de este grupo a todos los servicios que demandará la operación de la planta.

En él se detallarán los gastos de librería, agua potable, telefonía e internet, seguros, patentes y combustible de los rodados y servicios de limpieza.

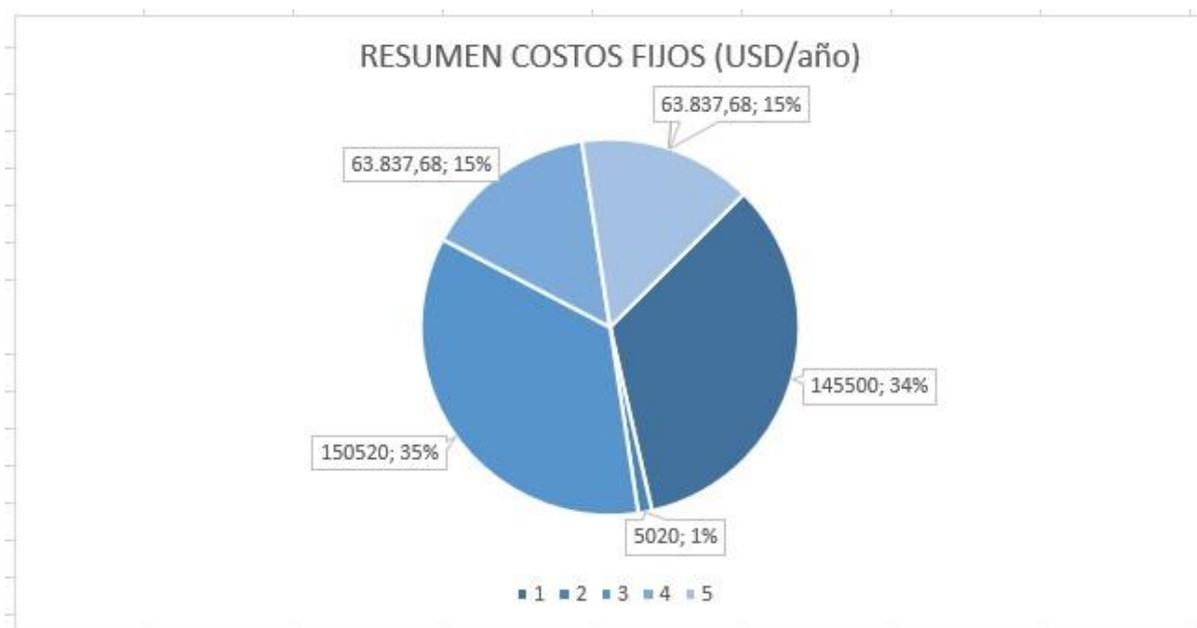
SERVICIOS		
Item	Costo Anual (USD/año)	Total Anual (USD/año)
Gastos de Librería	200	5020
Telefonía e Internet	300	
Seguros e Impuestos de Rodados	1400	
Servicio de Limpieza	1230	
Combustible	1890	

TABLA 14.3.3.3: Costos Fijos de Servicios /Fuente: Elaboración propia.

14.3.3.4 RESUMEN DE COSTOS FIJOS

RESUMEN COSTOS FIJOS (USD/año)	
Mano de Obra	145500
Servicios	5020
Erogables	150520
Depreciaciones y Amortizaciones	63.837,68
No Erogables	63.837,68
Total	428715,364

TABLA 14.3.3.4: Resumen de Costos Fijos /Fuente: Elaboración propia.



ILUSTRACION 14.3.3.4: Costos Fijos /Fuente: Elaboración propia.

14.3.4 COSTOS VARIABLES

Para calcular el costo total de operación de la planta, es fundamental considerar los costos variables, los cuales dependen directamente del nivel de operación.

Es conveniente que la mayor proporción de los costos se mantenga dentro de esta categoría, ya que el escenario es más favorable cuando la producción cae.

14.3.4.1 COSTOS VARIABLES DE REACTIVOS

Los reactivos empleados se han determinado en la sección 6.3. La demanda anual para cada uno de ellos, su precio y vendedor se resume a continuación.

Reactivo	Cantidad	Costo unitario	Costo total (USD/año)	Proveedor sugerido
Sulfato de Aluminio (8% p/p)	27,55 m ³ /año	105,00 USD/m ³	2.892,75	Duperial S.A. / Univar Solutions
Hidróxido de Sodio (50% p/p)	2.345,28 kg/año	0,35 USD/kg	820,85	Univar Solutions / Química Oeste
Floculante Lipesa 1569-A (90%)	65.147 kg/año	0,13 USD/kg	8.469,11	Lipesa Argentina S.A.
Hipoclorito de Sodio (12%)	5,86 m ³ /año	45,00 USD/m ³	263,70	Industrias Químicas Tiner S.A.
Bacterias biodigestoras (pozo ciego)	1 kg/año	350,00 USD/kg	350,00	Líquidos Cloacales® – Biotecno SRL
Total			12.796,41 USD/año	

TABLA 14.3.4.1: Costos Variables de Reactivos /Fuente: Elaboración propia.

El costo anual de reactivos es de **USD 12796,41**.

14.3.4.2 COSTOS VARIABLES DE ENERGIA

La operación de la planta de tratamiento de efluentes requiere un consumo energético significativo, especialmente debido al funcionamiento continuo de bombas y aireadores. Estos equipos trabajan con un alto grado de demanda eléctrica durante todo el año, por lo que resulta indispensable estimar su consumo mensual y anual para evaluar el impacto económico de este recurso. El siguiente análisis considera un factor de carga del 80 %, un tiempo de operación de 720 horas mensuales y un costo promedio de energía eléctrica de 0,17 USD/kWh, correspondiente a la tarifa vigente en la ciudad de Bahía Blanca para grandes usuarios industriales. A partir de estos parámetros se estimaron los costos mensuales asociados a cada equipo involucrado en el proceso.

Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Factor de carga	Consumo mensual (kWh)	Costo unitario (USD/kWh)	Costo mensual (USD)
B-TE1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-TA1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-IC1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-CS1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-PS1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-NE1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-D1	2	0.18	0.8	207.36	0.17	35.25
B-D2	2	0.12	0.8	138.24	0.17	23.50
B-D3	2	0.12	0.8	138.24	0.17	23.50
B-D4	2	0.12	0.8	138.24	0.17	23.50
B-RB1	2	1.8	0.8	2073.60	0.17	352.51
B-SE1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
B-B1	2	2.5	0.8	2880.00	0.17	489.60
B-PS2	2	2.5	0.8	2880.00	0.17	489.60
B-DF1	2	1.5	0.8	1728.00	0.17	293.76
Aireadores	9	7.5	0.8	38880.00	0.17	6609.60
Total	-	-	-	61159.68	-	10397.15

TABLA 14.3.4.2: Costos Variables de Energía /Fuente: Elaboración propia.

El monto de los costos variables de energía ascienden a **USD 10397,15**.

14.3.4.3 COSTOS VARIABLES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los equipos resulta indispensable para garantizar el funcionamiento continuo y eficiente de la planta. Incluye inspecciones periódicas, reposición de piezas desgastadas y tareas correctivas. En este caso, se ha adoptado un valor estimativo del 5 % sobre la inversión total en equipos, de acuerdo con lo sugerido en la bibliografía técnica de referencia para plantas industriales.

Referencia:

Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). McGraw-Hill.

Descripción	Valor	Unidad
Costo total de equipos instalados	USD 325.685,85	Dolares
Porcentaje aplicado (recomendado)	5 %	-
Costo anual estimado de mantenimiento	USD 16.284,29	dólares/año

TABLA 14.3.4.3: Costos Variables de Mantenimiento /Fuente: Elaboración propia.

14.3.4.4 RESUMEN DE COSTOS VARIABLES

RESUMEN DE COSTOS VARIABLES (USD/año)	
Reactivos	12.796,41
Energia	124765,8
Mantenimiento	16284,29
Total	153.846,50

TABLA 14.3.4.4: Resumen de Costos Variables/ Fuente: Elaboración propia.

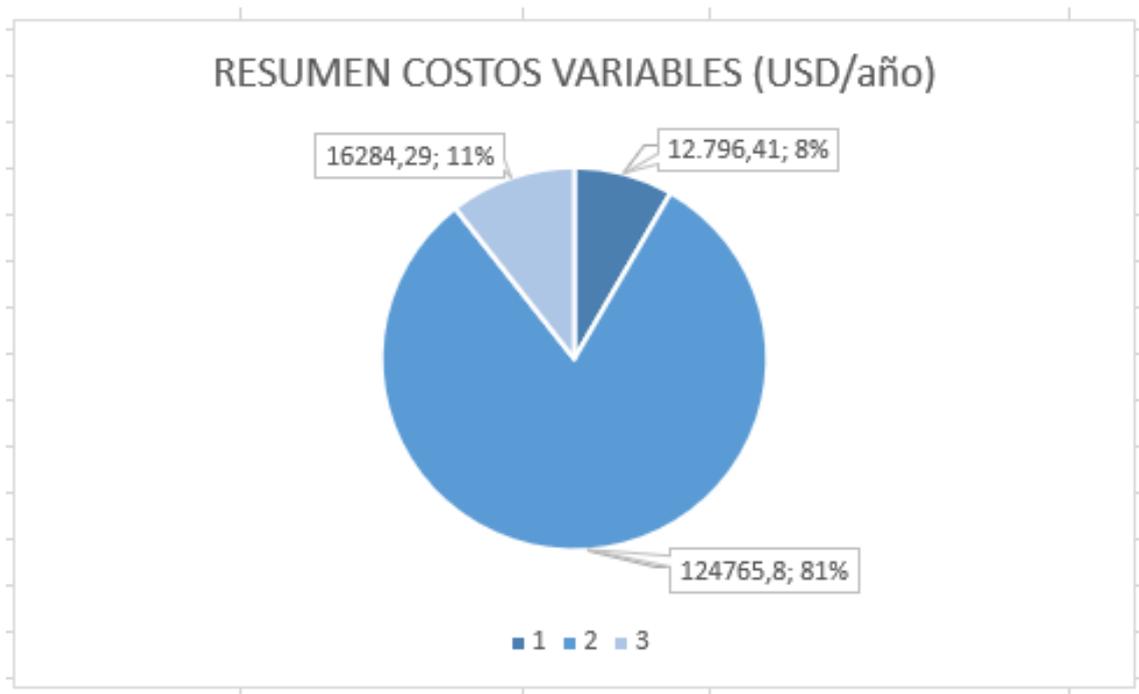


ILUSTRACIÓN 14.3.4.4: Costos Variables /Fuente: Elaboración propia.

14.3.5 COSTOS TOTALES

El costo total de la empresa para el plan de operación propuesta está dado por la suma de los costos variables y los costos fijos calculados para dicha operación.

Se presenta a continuación en formato tabla y gráfico para una mejor apreciación.

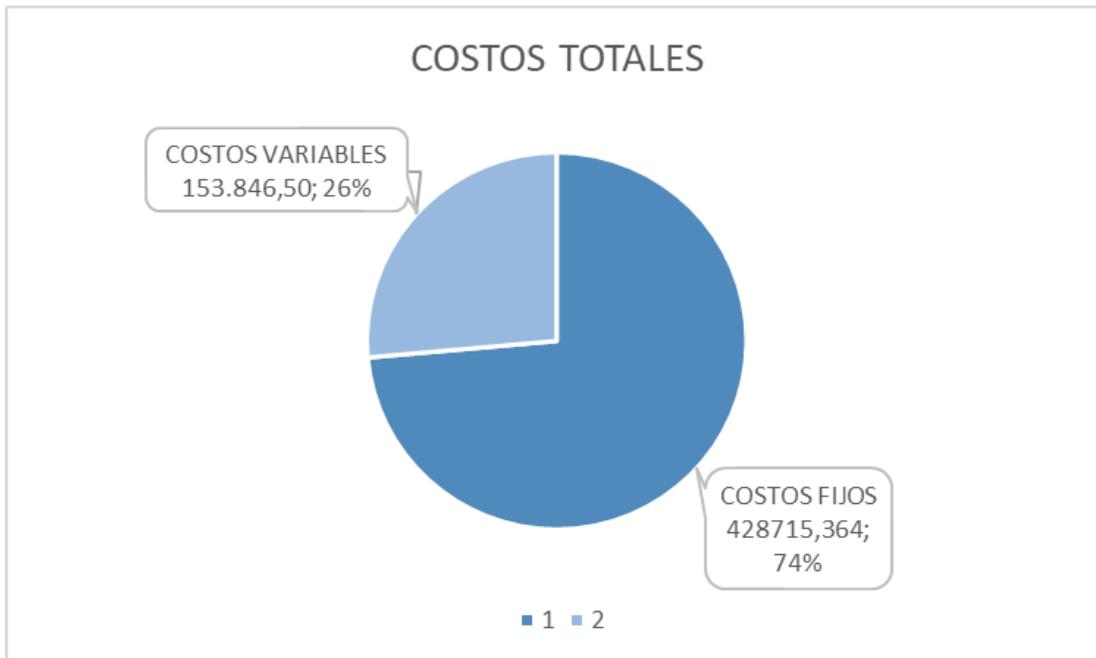


ILUSTRACIÓN 14.3.5: Costos Totales /Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se observa una mayor proporción de costos fijos en comparación con los costos variables, lo cual refleja una estructura típica de instalaciones que requieren una inversión significativa en infraestructura, equipamiento y operación permanente.

Este perfil implica que, aun ante una posible reducción del caudal a tratar o una menor frecuencia de operación, los costos totales no disminuirán considerablemente, ya que una gran parte de ellos son independientes del volumen tratado.

Por ello, resulta fundamental garantizar una operación continua y sostenida de la planta, a fin de diluir estos costos fijos sobre un mayor volumen de tratamiento. Asimismo, este comportamiento resalta la importancia de mantener un alto grado de eficiencia en la planificación y asignación de recursos, buscando maximizar la utilización de la capacidad instalada.

14.4 FLUJO DE CAJA

Dado que el servicio de tratamiento de efluentes no implica la generación directa de ingresos, el análisis económico se centra exclusivamente en los costos proyectados a lo largo del horizonte temporal definido para la evaluación.

En este marco, el flujo de caja representa la estimación de los egresos que implica cada una de las alternativas planteadas. Las opciones consideradas son las siguientes:

- La construcción y operación de una planta propia.
- La implementación de una planta en modalidad de alquiler.

El propósito de este análisis es identificar cuál de las dos propuestas presenta un menor costo total a lo largo de los 15 años de evaluación. A continuación, se detallan los flujos de caja proyectados para cada escenario.

14.4.1 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO EN SÍ - ALTERNATIVA A

En este apartado se presenta el flujo de caja del proyecto que contempla todo el proceso de diseño, instalación y operación de la planta de tratamiento de efluentes que Aurelia S.A. lleva a cabo para la empresa que solicita tal servicio.

Los indicadores económicos para dicha alternativa se presentan en la siguiente tabla.

INDICADORES ECONOMICOS- ALTERNATIVA A	
VAC	-\$ 4.088.958,56
CAE	\$ 775.676,08
COSTO ANUAL /m3	\$ 17,42

TABLA 14.4.1: Indicadores Económicos /Fuente: Elaboración propia.

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO EN SÍ- ALTERNATIVA A							
RUBRO	AÑO						
	0	1	2	3	4	5	6
Costos Variables de Operación	-	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50
Costos Fijos de Operación	-	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36
Depreciaciones	-	-57286,06	-57286,06	-57286,06	-57286,06	-57286,06	-57286,06
Amortizaciones	-	-6551,62	-6551,62	-6551,62	-	-	-
Inversion Inicial	-549797,4	-	-	-	-	-	-
Costos del Servicio	-188750	-	-	-	-	-	-
Valor de Desecho	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Caja del Proyecto	-738547,4	-646.399,54	-646.399,54	-646.399,54	-639.847,92	-639.847,92	-639.847,92

7	8	9	10	11	12	13	14	15
-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50	-153.846,50
-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36	-428715,36
-57286,06	-57286,06	-50636,06	-50636,06	-4958,4	-4958,4	-4958,4	-4958,4	-4958,4
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-639.847,92	-639.847,92	-633.197,92	-633.197,92	-587.520,26	-587.520,26	-587.520,26	-587.520,26	-587.520,26

TABLA 14.4.1: Flujo de Caja del Proyecto en Sí - Alternativa A /Fuente: Elaboración propia.

14.4.2 FLUJO DE CAJA POR CONTRATACIÓN DEL SERVICIO A “WET ARGENTINA S.A.” - ALTERNATIVA B

En este apartado se presenta el flujo de caja correspondiente a la contratación del servicio de tratamiento de efluentes industriales con la empresa WET ARGENTINA S.A., identificada previamente en el Capítulo 2 como parte del mercado competidor. Dicha empresa se especializa en brindar servicios ambientales, entre los cuales se incluye el tratamiento de efluentes líquidos industriales. Por este motivo, se la considera como la alternativa B frente a la opción de tratamiento interno propuesta en este proyecto (alternativa A).

El objetivo de esta sección es cuantificar los costos asociados a esta opción externa, a fin de compararlos con los de la alternativa propia y así contribuir al análisis económico integral del proyecto.

14.4.2.1 COSTO DE LA CONTRATACION DEL SERVICIO

Para estimar el costo asociado a la contratación del servicio externo de tratamiento de efluentes industriales con la empresa WET ARGENTINA S.A., es necesario considerar tanto los costos operativos propios del servicio como el margen de ganancia que la empresa aplica en función de su estructura, experiencia y condiciones del tratamiento requerido.

Este margen no es arbitrario, sino que responde a varios factores que forman parte de la modalidad de trabajo y de los servicios ofrecidos por la empresa, entre los cuales se destacan:

- Variabilidad de la carga contaminante: WET ARGENTINA S.A. presta servicios a diversos sectores industriales, por lo que contempla en sus tarifas la complejidad que representa tratar efluentes con cargas variables. En este proyecto, la presencia de compuestos como cloruro de vinilo monómero (VCM) y otros contaminantes propios de la industria del PVC puede generar fluctuaciones que afectan el consumo de reactivos, la estabilidad del proceso y la necesidad de tratamientos específicos. Esta situación implica un ajuste del margen para cubrir potenciales sobrecostos operativos.
- Infraestructura especializada disponible: La empresa cuenta con instalaciones equipadas con tecnologías de tratamiento físico-químico, biológico y sistemas complementarios. La utilización de estos sistemas especializados —que requieren mantenimiento, operación calificada y amortización de equipos— forma parte del valor del servicio ofrecido. Esto se traduce en una tarifa que contempla el uso y desgaste de dichos recursos.
- Volumen de efluente a tratar: El caudal a tratar (aproximadamente 7.300 kg/h de efluente líquido) es un factor relevante. WET ARGENTINA S.A. suele ajustar sus tarifas en función del volumen procesado, ofreciendo en algunos casos márgenes más competitivos para mayores volúmenes. Sin embargo, la complejidad del efluente y los requerimientos de tratamiento limitan en este caso la posibilidad de aplicar descuentos significativos por escala.

Estos aspectos, alineados con la forma de operar de WET ARGENTINA S.A., se consideran clave para definir un costo estimado representativo de la contratación del servicio bajo la alternativa B. Este valor será utilizado como base en el análisis comparativo con la alternativa A y en la construcción del flujo de caja correspondiente.

14.4.2.1.1 REFERENCIAS PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO

Se ha estimado un valor referencial de 6 USD/m³ como costo del servicio de tratamiento de efluentes industriales provisto por la empresa WET ARGENTINA S.A., considerando su experiencia en el sector, el tipo de efluente involucrado en este proyecto y la tecnología utilizada. Este valor se encuentra dentro de un rango razonable para empresas del rubro que operan en el país, y contempla un margen de ganancia acorde a la variabilidad de la carga contaminante, el volumen tratado y la infraestructura especializada que la empresa pone a disposición.

Debe tenerse en cuenta que este costo estimado corresponde únicamente al servicio de tratamiento prestado por un tercero y no incluye los costos operativos propios que asumiría el generador del efluente, tales como transporte, almacenamiento temporal, mano de obra

interna, consumo energético previo al envío, ni reactivos químicos adicionales que deban ser agregados antes de su entrega.

Por lo tanto, este valor representa una base para el análisis económico bajo la alternativa B y será utilizado en la elaboración del flujo de caja correspondiente.

Los indicadores económicos para dicha alternativa se presentan en la siguiente tabla.

INDICADORES ECONOMICOS- ALTERNATIVA B	
VAC	-\$ 3.446.090,99
CAE	\$ 653.724,00
COSTO ANUAL /m3	\$ 14,68

TABLA 14.4.2.1.1: Indicadores Económicos- Alternativa B /Fuente: Elaboración propia.

FLUJO DE CAJA DEL ALQUILER DE UNA PLANTA- ALTERNATIVA B							
RUBRO	AÑO						
	0	1	2	3	4	5	6
Costos Variables de Operación	-	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00
Costos Fijos de Operación	-	-103500	-103500	-103500	-103500	-103500	-103500
Costos Variables de Operación	-	-198000	-198000	-198000	-198000	-198000	-198000
Flujo de Caja del Proyecto	0	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00

7	8	9	10	11	12	13	14	15
-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00	-352.224,00
-103500	-103500	-103500	-103500	-103500	-103500	-103500	-103500	-103500
-198000	-198000	-198000	-198000	-198000	-198000	-198000	-198000	-198000
-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00	-653.724,00

TABLA 14.4.2.2.1: Flujo de caja de el Alquiler de una Planta- Alternativa B /Fuente: Elaboración propia.

14.5 ALTERNATIVA RECOMENDADA

Tras realizar la evaluación técnica y económica de las dos opciones propuestas para el tratamiento de efluentes industriales ,la construcción de una planta propia (Alternativa A) y la contratación del servicio a través de una planta alquilada (Alternativa B), se concluye que, considerando un horizonte operativo de 15 años sin interrupciones, la alternativa más recomendable es la **Alternativa A**.

A continuación, se exponen los principales criterios analizados.

14.5.1 CRITERIO ECONÓMICO

El análisis económico se centró en el cálculo del Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE) de cada alternativa. Estas herramientas permiten comparar ambas propuestas bajo un mismo marco temporal, considerando el valor del dinero en el tiempo.

En este caso, si bien la **Alternativa B** (planta alquilada) presenta un costo anual inferior USD 14,68/m³, frente a los **USD 17,42/m³** de la **Alternativa A**, el mayor costo de esta última se ve compensado por otras ventajas clave, como la autonomía operativa, la independencia tecnológica y el control sobre los procesos, aspectos que resultan fundamentales para un proyecto de base ambiental y de enfoque ingenieril.

14.5.2 CRITERIO DE RIESGO TECNOLÓGICO Y OPERATIVO

Desde el punto de vista técnico y operativo, la Alternativa A implica asumir mayores responsabilidades, ya que todo el proceso desde el diseño de los equipos hasta la operación diaria queda bajo control de la empresa. Esta opción requiere una planificación más detallada y un compromiso mayor con el mantenimiento y gestión del sistema, pero otorga la posibilidad de adaptar la tecnología a las características particulares del efluente, optimizando resultados a largo plazo.

En contraste, la Alternativa B delega estas funciones a un proveedor externo, lo que reduce la carga operativa, pero también limita la flexibilidad técnica y genera cierta dependencia respecto a los tiempos, costos y condiciones de terceros.

14.5.3 CRITERIO DE FLEXIBILIDAD ANTE INCERTIDUMBRE

Cuando se consideran escenarios inciertos o con posibilidad de finalización anticipada del proyecto, la alternativa B se presenta como más flexible, ya que no implica grandes inversiones iniciales ni compromisos de largo plazo. Al no requerir la adquisición de activos fijos, se facilita la adaptación ante cambios imprevistos.

En cambio, la Alternativa A requiere una inversión significativa en infraestructura, lo cual, ante un cese prematuro, podría derivar en activos ociosos con bajo valor de recuperación.

14.6 CONCLUSIÓN FINAL

En función del análisis integral realizado, se recomienda optar por la **alternativa A: construcción y operación de una planta propia de tratamiento de efluentes**. Si bien esta alternativa representa un mayor costo unitario (USD 17,42/m³ frente a USD 14,68/m³ en la opción alquilada), la decisión se fundamenta en su mayor independencia operativa, posibilidad de optimización tecnológica y alineación con los objetivos ambientales del proyecto.

Esta opción, además de responder de forma específica a las características del efluente generado por la planta de PVC, fortalece la capacidad de gestión técnica de la organización y garantiza un control más riguroso sobre los parámetros ambientales del proceso, en línea con la orientación de ingeniería ambiental de este desarrollo.

CAPÍTULO XV - ANÁLISIS DE RIESGOS

15.1 ANÁLISIS DE RIESGOS

Este apartado tiene como objetivo identificar los riesgos con mayor impacto potencial en el proyecto, con el propósito de contribuir a un análisis económico basado exclusivamente en costos. Para ello, se estima la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo y se establece su importancia relativa, lo que permite dimensionar su influencia en el costo total del proyecto. A partir de este análisis, se definen las variables que serán evaluadas mediante simulaciones del flujo de caja, considerando distintos escenarios posibles.

Con base en esta evaluación, se proponen medidas destinadas a mitigar, compensar o contener los efectos de dichos riesgos.

15.2 RIESGOS IDENTIFICADOS

Se identificaron y analizaron las variables más relevantes y significativas para este tipo de industria. Esta estrategia responde a la necesidad de focalizar el análisis, dado que una enumeración exhaustiva de todos los riesgos asociados requeriría un nivel de detalle que excede el alcance del estudio alcanzado.

15.2.1 RIESGOS OPERATIVOS Y TÉCNICOS

Dentro de esta categoría se han identificado los riesgos descritos a continuación.

15.2.1.1 INEFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO

Existe la posibilidad de que el sistema de tratamiento no logre alcanzar los parámetros requeridos para el vertido, como consecuencia de cambios en la composición del efluente, condiciones de operación no contempladas o dificultades durante la puesta en marcha del proceso. Esta situación podría comprometer el cumplimiento de la normativa vigente, ocasionando sanciones o la necesidad de rediseñar etapas del tratamiento.

Medidas de mitigación:

- Diseñar la planta con flexibilidad operativa, incorporando sistemas de control que permitan ajustar parámetros clave como pH, caudal y dosificación de reactivos.
- Realizar una puesta en marcha gradual con monitoreo intensivo para ajustar condiciones de operación según el comportamiento real del efluente.
- Implementar un sistema de monitoreo continuo de parámetros críticos para detectar desviaciones tempranas y corregirlas a tiempo.

15.2.1.2 FALLA DE EQUIPOS CRÍTICOS

Los equipos fundamentales del proceso, como bombas, sopladores, torre de stripping o sistemas de agitación, pueden presentar fallas debido al desgaste, deficiencias en el mantenimiento o defectos de fabricación. Estas fallas afectarían la continuidad operativa, provocarían la interrupción del tratamiento y generarían costos adicionales de reparación o reemplazo.

Medidas de mitigación:

- Establecer un plan preventivo de mantenimiento riguroso y calendarizado para todos los equipos críticos.
- Incluir equipos redundantes o en paralelo (stand-by) en etapas clave del proceso para asegurar la continuidad operativa ante fallas.
- Capacitar al personal técnico en procedimientos de detección temprana de fallos y resolución de contingencias.

15.2.1.3 VARIABILIDAD DEL EFLUENTE

La carga contaminante del efluente puede variar en caudal, composición o concentración de contaminantes debido a fluctuaciones en el proceso industrial. Esta variabilidad podría superar la capacidad de diseño de la planta y comprometer el rendimiento del tratamiento.

Medidas de mitigación:

- Incorporar un sistema de equalización previo al tratamiento, que homogenice el efluente antes de ingresar al proceso principal.
- Diseñar el sistema de tratamiento considerando rangos amplios de variabilidad esperada.
- Realizar controles periódicos del efluente de entrada para ajustar los procesos de manera dinámica según la composición detectada.

15.2.2. RIESGOS ECONÓMICOS

Dentro de esta categoría se han identificado los riesgos descritos a continuación.

15.2.2.1 AUMENTO DE COSTOS EN INSUMOS DE SERVICIOS

Los costos de operación del sistema pueden incrementarse debido a variaciones en los precios de energía eléctrica, vapor, reactivos químicos, o costos de mantenimiento. Esto puede afectar la viabilidad económica del proyecto, especialmente a largo plazo.

Medidas de mitigación:

- Seleccionar tecnologías con bajo consumo de energía y reactivos, priorizando la eficiencia operativa.
- Realizar contratos a largo plazo con proveedores para asegurar precios más estables y predecibles.
- Evaluar alternativas de abastecimiento y optimización del consumo a través del control automatizado de procesos.

15.2.3 SINIESTROS E IMPREVISTOS

Dentro de esta categoría se han identificado los riesgos descritos a continuación.

15.2.3.1 ACCIDENTES LABORALES

El trabajo en una planta industrial implica riesgos para la salud y seguridad del personal, como exposición a productos químicos, contacto con maquinaria en movimiento o caídas. La ocurrencia de accidentes podría generar daños humanos, interrupciones del servicio y consecuencias legales.

Medidas de mitigación:

- Implementar un programa integral de seguridad e higiene, con capacitaciones periódicas y señalización adecuada.
- Proveer al personal de todos los elementos de protección personal (EPP) requeridos para cada tarea.
- Establecer protocolos de trabajo seguro y sistemas de bloqueo/etiquetado en operaciones de mantenimiento.

15.2.3.2 INCENDIOS EN GENERAL

La presencia de sustancias inflamables, como residuos con VCM o productos químicos de tratamiento, aumenta el riesgo de incendios. Estos eventos podrían ocasionar daños materiales graves, contaminación ambiental o lesiones al personal.

Medidas de mitigación:

- Instalar sistemas de detección temprana y supresión automática de incendios (como sensores de humo, rociadores y extintores adecuados).
- Establecer zonas clasificadas con restricciones para sustancias inflamables, y asegurar una ventilación adecuada.
- Desarrollar simulacros periódicos de evacuación y respuesta ante incendios para todo el personal.

ANÁLISIS DE RIESGOS DEL PROYECTO						
Aspecto	Riesgo identificado	Temporalidad	Magnitud	Probabilidad de ocurrencia	Impacto	Plan de acción
Riesgos Operativos y técnicos	Ineficiencia del tratamiento	Puesta en marcha / Operación	Media	Media	Alta	Diseñar con flexibilidad operativa, implementar monitoreo continuo y puesta en marcha gradual con ajustes en tiempo real.
	Falla de equipos críticos	Operación	Alta	Media	Alta	Aplicar mantenimiento preventivo, incluir equipos redundantes y capacitar al personal en detección temprana y respuesta ante fallas.
	Variabilidad del efluente	Permanente	Alta	Alta	Alta	Incorporar un tanque de equalización, diseñar considerando rangos de variabilidad y realizar un monitoreo periódico del efluente de entrada.
Riesgos Económicos	Aumento de costos en insumos y servicios	Operación	Alta	Alta	Media	Seleccionar tecnología eficiente, realizar contratos a largo plazo con proveedores y optimizar el consumo mediante automatización.
Siniestros e Imprevistos	Accidentes laborales	Permanente	Alta	Media	Alta	Implementar programas de seguridad e higiene, capacitar al personal y proveer los EPP necesarios.
	Incendios en general	Permanente	Alta	Baja	Alta	Instalar sistemas de detección y supresión, establecer zonas clasificadas y realizar simulacros periódicos.

TABLA 15.2: Análisis de riesgos del proyecto / Fuente: Elaboración propia

15.3 CONCLUSIÓN

El análisis realizado permitió identificar los principales riesgos que podrían afectar el diseño, la implementación y la operación de la planta de tratamiento de efluentes. Se consideraron aspectos operativos, técnicos, económicos y de seguridad, evaluando su magnitud, probabilidad de ocurrencia e impacto potencial. A partir de esta evaluación, se propusieron medidas de mitigación concretas orientadas a minimizar la ocurrencia de eventos no deseados y a garantizar la eficiencia, continuidad y seguridad del sistema. Este enfoque preventivo contribuye a una mayor robustez del proyecto y respalda su viabilidad técnica, económica y ambiental a largo plazo.

CAPÍTULO XVI - ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

16.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Este capítulo tiene como finalidad analizar el comportamiento del proyecto ante variaciones en ciertos parámetros clave.

El análisis de sensibilidad se presenta como un complemento a la evaluación económica y al estudio de riesgos desarrollados en los capítulos anteriores. Su objetivo es determinar hasta qué punto resulta conveniente, únicamente hablando desde lo económico, mantener la elección de la alternativa B (externalizar el tratamiento en una empresa especializada) y en qué condiciones comenzaría a ser más adecuada la alternativa A (tratamiento del efluente mediante la propuesta diseñada en este proyecto).

Para ello, se emplea un modelo de sensibilización unidimensional de los costos operativos, el cual consiste en modificar una sola variable mientras se mantienen constantes las demás.

En este caso, se opta por sensibilizar los costos indicados, con el fin de identificar el umbral a partir del cual dichos costos vuelven más ventajosa la opción de externalizar el tratamiento (alternativa B) respecto a llevarlo a cabo internamente (alternativa A).

16.1.1 SENSIBILIZACIÓN DE LOS COSTOS OPERATIVOS

Consiste en incrementar los costos operativos en forma porcentual respecto al básico y desde ese punto recalculamos el VAC para la alternativa B.

INCREMENTO DE LOS COSTOS OPERATIVOS - ALTERNATIVA B				
Costos operativos base	Porcentaje	Incremento porcentual anual	Costos operativos anuales incrementados	VAC
-352224	33%	-116233,92	-468457,92	-4.058.815,42
-352224	34%	-119756,16	-471980,16	-4.077.382,82
-352224	34,3%	-120812,832	-473036,832	-4.082.953,05
-352224	34,4%	-121165,056	-473389,056	-4.084.809,79
-352224	34,5%	-121517,28	-473741,28	-4.086.666,53
-352224	34,6%	-121869,504	-474093,504	-4.088.523,27
-352224	34,7%	-122221,728	-474445,728	-4.090.380,01
-352224	35%	-123278,4	-475502,4	-4.095.950,23
-352224	36%	-126800,64	-479024,64	-4.114.517,64

TABLA 16.1.1 Sensibilización de los Costos operativos / Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse que a medida que aumentan los costos de tratamiento, la diferencia entre el valor actual de los costos de ambas alternativas tiende a reducirse. Específicamente, con un incremento del 24,7% respecto del costo original, la alternativa B se iguala económicamente a la alternativa A.

Gráficamente esto se puede visualizar de la siguiente manera.

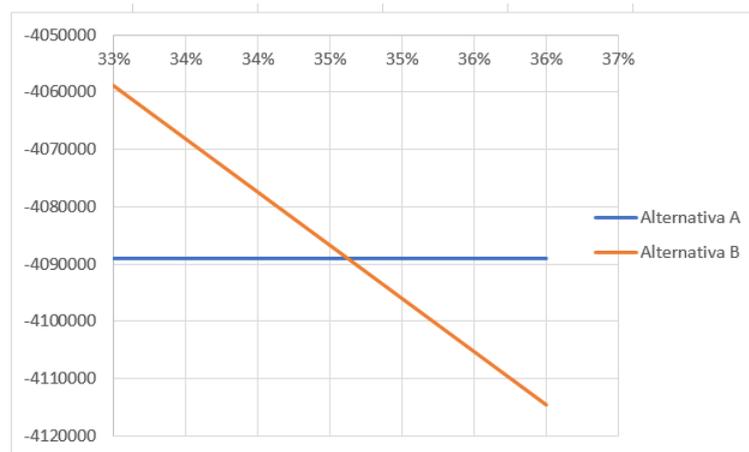


ILUSTRACIÓN 16.1.1 Gráfico de sensibilización de los costos operativos / Fuente: Elaboración propia.

16.1.2 FACTORES ATRIBUIBLES AL INCREMENTO

El análisis de sensibilidad realizado permite determinar el umbral a partir del cual la alternativa B deja de ser económicamente preferible en comparación con la alternativa A.

A continuación, se detallan algunos factores que podrían provocar un incremento significativo en los costos de operación de la Alternativa B, comprometiendo así su viabilidad económica frente a la alternativa externalizada:

- Incremento sostenido en los precios de insumos químicos o energía utilizados en el proceso de tratamiento, lo cual impacta directamente en los costos operativos.
- Fallas técnicas o paradas imprevistas de la planta, que podrían requerir inversiones adicionales en mantenimiento correctivo o reemplazo de equipos.
- Necesidad de contratar personal especializado o de implementar nuevas tecnologías para cumplir con normativas ambientales más exigentes, lo que implicaría mayores costos fijos y variables.

Estos escenarios, entre otros, deben ser monitoreados para asegurar que la elección de una alternativa continúe siendo sustentable desde el punto de vista económico a lo largo del tiempo.

16.2 CONCLUSIÓN

En el presente capítulo se desarrolló un análisis de sensibilidad centrado en los costos operativos de las dos alternativas evaluadas: la Alternativa A, correspondiente al diseño y operación de una planta de tratamiento de efluentes líquidos generados en la producción de resina de PVC; y la Alternativa B, basada en la contratación de un servicio externo especializado.

Tal como se expuso en el capítulo anterior, el análisis económico arrojó un Valor Actual Neto (VAC) superior para la Alternativa A, sin embargo, la Alternativa B resultó más conveniente desde una perspectiva exclusivamente económica, debido a su menor inversión inicial y menores costos proyectados.

En esta sección, se evaluó la sensibilidad del VAC de la Alternativa B ante incrementos en sus costos operativos, determinando un aumento del 24,7 % en dichos costos haría que su VAC se iguale al de la Alternativa A. Este valor representa el umbral a partir del cual la opción B dejaría de ser económicamente más viable.

No obstante, es importante señalar que este análisis se fundamenta exclusivamente en criterios económicos y no contempla otras dimensiones relevantes para la toma de decisión. Factores como la independencia operativa, la posibilidad de implementar mejoras tecnológicas a medida y la alineación con los objetivos ambientales estratégicos del proyecto pueden justificar la elección de la Alternativa A, aun cuando implique un mayor costo económico en el horizonte de evaluación determinado.

BIBLIOGRAFÍA

TÉCNICA Y TEÓRICA

1. Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Peter, M. S., & Timmerhaus, K. D. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
3. Perry, R. H., & Green, D. W. (2007). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
4. Ministerio de Salud de la Nación Argentina. (2003). *Norma N° 336/03 - Límites de descarga de efluentes líquidos industriales*. Boletín Oficial.
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina. (2021). *Guía para la gestión integral de barros y lodos generados en plantas de tratamiento de efluentes*. Documento oficial.
5. UNEP - United Nations Environment Programme. (2010). *Guidelines on Wastewater Management*. UNEP Publications.
6. US EPA. (2004). *Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors*. EPA 932-F-99-073.
7. Hach Company. (2019). *Activated Sludge Process Monitoring*. Technical Resource Guide.
8. Atlas Copco. (2022). *Blowers for Wastewater Treatment*. Technical Product Catalog.
9. SIGMA-Aldrich (Merck). (2023). *Microorganisms for Industrial Wastewater Treatment*. Product Data Sheet.
10. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria – UNCUIYO. (2023).
11. *Diseño y distribución de la planta – Capítulo 9*. Autores varios.
12. Universidad Nacional de Cuyo – FCAI. (2024). *Cátedra de Estudios y Auditorías Ambientales – Presupuesto Estimativo de EIA*. Material de clase.
13. GEA Westfalia Separator Group. (2021). *Screw Press Dewatering Technology*. Catálogo técnico.
14. Raschid-Sally, L., & Jayakody, P. (2008). *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries*. IWMI.
15. Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands* (2nd ed.). CRC Press.
16. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003).
17. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
18. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2017). *23rd ed.*
19. American Public Health Association (APHA).
20. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2015).
21. *Normas IRAM para efluentes líquidos industriales*. Normas técnicas.
22. ISO. (2015). *ISO 14001:2015 – Environmental Management Systems*. International Organization for Standardization.
23. ISO. (2018). *ISO 9001:2015 – Quality Management Systems*. International Organization for Standardization.
24. ISO. (2010). *ISO 26000 – Guidance on Social Responsibility*. International Organization for Standardization.
25. Fundación CEAMSE. (2022). *Manual de disposición final de residuos sólidos*. Publicación institucional.
26. UNESCO. (2019). *Wastewater: The Untapped Resource*. WWAP.
27. Gómez, D., & Iglesias, A. (2011). *Tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales industriales*. Editorial Universidad de Salamanca.
28. CONICET – CNEA. (2020). *Monitoreo ambiental en áreas industriales inactivas*. Informe técnico.
29. Lema, J. M., & Omil, F. (2014). *Ingeniería de las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Editorial Díaz de Santos.

- Van Haandel, A., & van der Lubbe, J. (2007). *Handbook of Biological Wastewater Treatment*. IWA Publishing.
30. IWA (International Water Association). (2020). *Biological Wastewater Treatment Series*. IWA Publishing.
31. FAO. (2012). *Reutilización segura del agua residual en la agricultura*. Guía técnica FAO.

COMERCIAL

1. Sullair Argentina S.A. (2024). *Catálogo de bombas centrífugas industriales*. Recuperado de: <https://www.sullair.com.ar>
2. Aireadores Industriales S.A. (2024). *Aireadores superficiales para tratamiento biológico*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://www.aireadoresindustriales.com.ar>
3. Grundfos Argentina (2024). *Catálogo de bombas dosificadoras serie DDA*. Recuperado de: <https://www.grundfos.com/ar>
4. Lipesa S.R.L. (2024). *Ficha técnica floculante polimérico 1569-A*. Córdoba, Argentina. Recuperado de: <https://www.lipesa.com.ar>
5. Clorotec S.A. (2024). *Hipoclorito de sodio grado industrial – especificaciones y precios*. Recuperado de: <https://www.clorotec.com.ar>
6. Brenntag Argentina (2024). *Hoja técnica de hidróxido de sodio al 50%*. Recuperado de: <https://www.brenntag.com/ar-es/>
7. Tecno Agua S.A. (2024). *Tamices industriales para pretratamiento de efluentes*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://www.tecnoagua.com.ar>
8. Rotoplas Argentina (2024). *Tanques industriales de almacenamiento de reactivos químicos*. Recuperado de: <https://www.rotoplas.com.ar>
9. WET Argentina S.A. (2024). *Plantas modulares de tratamiento de efluentes - Servicios integrales*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://www.wetargentina.com.ar>
10. Biolodos S.R.L. (2024). *Microorganismos para biodigestores y plantas de tratamiento*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://www.biolodos.com.ar>