

Universidad Nacional
de San Martín

3iA

Instituto de Investigación
e Ingeniería Ambiental

Proyecto Final Integrador

Ingeniería Ambiental

“Proyecto Ambiental en la Antártida: diseño de una planta de tratamiento de efluentes cloacales con tratamiento de contaminantes emergentes, planta potabilizadora y gestión integral de residuos para la Base Esperanza”

Autor: Federico Cherny

Legajo: CYT-8937

Tutora: Ruth Rodríguez

Agradecimientos

Si por algo existe este proyecto, es por esta sección. Por toda esta gente que es una parte hermosa y esencial de mi vida y de mi título. Gracias a ustedes fue mucho más lindo.

A mis amigos de la facultad, que queda chico decirles así.

A Charo, mi primer facuamiga que se convirtió en mi mejor amiga.

A Nehue, Rama y Rodri, con quienes llegamos al punto de formar una casa como una hermosa familia de 4 hermanos con futuro.

A Pachu, por su amistad incondicional, apoyo, charlas, consejos y mucho más.

A Maca, por bancarme tantos años y llevarme hasta acá con resúmenes y todo lo que necesite.

A la negra, Ale, Caro y Carito, por su hermosa amistad y compañía todos estos años.

Al equipo de fútbol 11 de la UNSAM, a Marian, Tincho, Mato, Manu, Nahue, Agus, Exe, Davo, Gabi y todos con los que compartimos años de entrenamientos y partidos y me hicieron sentir tan querido.

A Civo, mi hermano desde hace tantos años que siempre me fumó hablando de la facultad.

A Manu, Gaspo y Nacho, por apoyarme y acompañarme en viajes inolvidables.

A mis amigos de Macabi, por hacerme reír siempre tanto con nuestros chistes elevados.

A Marcos, por ayudarme a crecer en mi camino profesional y confiar siempre en mi.

A Cami y Barbi, por apoyarme y guiarme en mis inicios de este proyecto.

A la Unsam, que se convirtió en mi segunda casa y la voy a llevar siempre en el corazón.

A la educación pública, por todo lo que representa.

A Boca, por enseñarme a disfrutar de sufrir.

A mi país, Argentina, el mejor país del mundo.

A mi hermano, por siempre estar ahí y alegrarse por mi (y esperar a que yo me reciba antes).

A Sol, por aparecer en mi vida y hacer que este camino sea aún más lindo por compartirlo juntos con tanto amor.

Y por último, a mi papá y a mi mamá. Las dos mejores personas, más hermosas e importantes de este camino y de mi vida. Gracias por enseñarme, compartirme y transmitirme las mejores cosas. Ser su hijo es el título más lindo que puedo tener.

Índice

Agradecimientos.....	1
Índice.....	2
Índice de Tablas.....	9
Índice de Figuras.....	12
Tabla de Acrónimos.....	14
Resumen ejecutivo.....	15
1. Introducción.....	17
1.1. La Antártida.....	17
1.2. Base Esperanza.....	19
1.3. Justificación del proyecto.....	20
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. Objetivos específicos.....	22
1.5. Metodología.....	22
2. Diagnóstico.....	24
2.1. Descripción de la BACE.....	24
2.1.1. Población.....	26
2.1.2. Usos y ocupaciones.....	27
2.1.3. Servicios.....	27
2.1.4. Condiciones climáticas.....	28
2.1.5. Topografía.....	28
2.2. Obtención de agua potable.....	29
2.2.1. Fuente de obtención.....	29
2.2.2. Método de transporte.....	30
2.2.3. Almacenamiento.....	30
2.2.4. Caracterización del agua.....	31
2.2.5. Tratamiento del agua.....	33
2.2.6. Consumos, viviendas y población a servir.....	33
2.2.7. Distribución.....	34
2.2.8. Usos.....	35
2.2.9. Conclusiones.....	36

2.3. Efluentes cloacales.....	36
2.3.1. Cobertura de servicios sanitarios.....	36
2.3.2. Caracterización del efluente cloacal.....	37
2.3.3. Tratamiento de los efluentes.....	39
2.3.4. Vuelco final.....	40
2.3.5. Conclusiones.....	41
2.4. Residuos.....	41
2.4.1. Clasificación de residuos.....	41
2.4.2. Caracterización de residuos.....	42
2.4.3. Gestión actual de residuos.....	42
2.4.4. Metas.....	43
2.4.5. Conclusiones.....	44
3. Marco Legal del Proyecto.....	44
3.1. El Protocolo de Madrid.....	44
3.2. Normativas.....	46
3.2.1. Código Alimentario Argentino.....	46
3.2.2. Ley Provincial N°55 de Tierra del Fuego.....	47
3.2.2.1. Decreto N°1333/93 Reglamentario.....	47
3.2.3. Directiva Marco del Agua de la Unión Europea.....	48
3.2.4. Ley N° 1126 - Ley de aguas.....	48
3.2.5. Ley 24.051 de Residuos Peligrosos.....	48
4. Descripción y Análisis de Alternativas.....	49
4.1. Galpón calefaccionado.....	50
4.2. Pretratamiento (PTEC).....	52
4.2.1. Desbaste.....	52
4.2.2. Desengrasador.....	53
4.2.3. Ecuilizador.....	54
4.3. Tratamiento Primario (PTAP).....	55
4.3.1. Coagulación-Floculación.....	55
4.3.2. Sedimentador primario.....	57
4.3.3. Filtración.....	58
4.4. Tratamiento Secundario (PTEC).....	60

4.4.1. Lodos activos y Sedimentador Secundario.....	61
4.4.2. Reactor Secuencial Batch.....	64
4.5. Desinfección (PTEC y PTAP).....	66
4.5.1. Cloro.....	67
4.5.2. Luz UV.....	67
4.6. Tratamiento de contaminantes emergentes (PTEC).....	68
4.6.1. Oxidación Avanzada.....	68
4.6.2. Carbón activado.....	69
4.7. Tratamiento de lodos (PTEC y PTAP).....	70
4.8. Tambores.....	71
4.9. Relleno sanitario de Ushuaia.....	72
4.10. CEAMSE.....	72
4.11. Análisis Comparativo de Alternativas.....	73
4.11.1. Planta potabilizadora.....	74
4.11.2. Planta depuradora.....	75
4.11.3. Gestión de residuos.....	78
5. Memoria de Cálculo.....	79
5.1. Planta depuradora.....	79
5.1.1. Pretratamiento.....	80
5.1.1.1. Desbaste.....	80
5.1.1.2. Desengrasador.....	83
5.1.2. Tratamiento Primario.....	85
5.1.2.1. Ecuilizador.....	85
5.1.3. Tratamiento secundario.....	90
5.1.3.1. Lodos activos.....	90
5.1.3.2. Sedimentador secundario.....	94
5.1.4. Tratamiento terciario.....	98
5.1.4.1. Filtro de Carbón activado.....	98
5.1.4.2. Cámara de luz UV.....	99
5.2. Planta potabilizadora.....	103
5.2.1. Tratamiento primario.....	103
5.2.1.1. Coagulación.....	103

5.2.1.2. Floculación.....	106
5.2.1.3. Sedimentador primario.....	107
5.2.1.4. Filtración.....	110
5.2.2. Tratamiento terciario.....	111
5.2.2.1. Cloración.....	111
5.3. Tratamiento de lodos.....	113
5.4. Galpón calefaccionado.....	114
5.4.1. Características del galpón.....	114
5.4.2. Dimensionamiento del suelo radiante.....	115
5.5. Red de agua potable.....	122
5.5.1. Toma de la fuente.....	122
5.5.2. Diseño de la red.....	122
5.5.3. Demanda base.....	124
5.5.4. Pendientes, Velocidades, Diámetros.....	124
5.5.5. Alturas.....	125
5.5.6. Estructura y Sistema calefactor.....	125
5.5.7. Simulación de la red.....	126
5.5.8. Válvulas.....	126
5.5.9. Listado de materiales.....	127
5.6. Red de distribución de agua tratada.....	127
5.6.1. Diseño de la red.....	127
5.6.2. Demanda base.....	128
5.6.3. Pendientes, Velocidades y Diámetros.....	128
5.6.4. Alturas.....	128
5.6.5. Estructura y Sistema Calefactor.....	129
5.6.6. Simulación de la red.....	129
5.6.7. Válvulas.....	130
5.6.8. Listado de materiales.....	130
5.7. Red cloacal.....	130
5.7.1. Caudal.....	131
5.7.2. Diámetros y Pendientes.....	131
5.7.3. Alturas.....	132

5.7.4. Bocas de registro y de ventilación.....	132
5.7.5. Proyección de la red.....	133
5.7.6. Listado de materiales.....	133
5.8. Gestión de residuos.....	134
5.8.1. Generación.....	135
5.8.1.1. Generación de Grupo I.....	135
5.8.1.2. Generación de Grupo II.....	136
5.8.1.3. Generación de Grupo III.....	136
5.8.1.4. Generación de Grupo IV.....	136
5.8.1.5. Generación de Grupo V.....	137
5.8.2. Recolección.....	137
5.8.2.1. Equipos de recolección.....	137
5.8.2.2. Frecuencia de recolección.....	138
5.8.2.3. Rutas de recolección.....	139
5.8.3. Almacenamiento.....	141
5.8.3.1. Tachos, bidones y tambores.....	141
5.8.3.2. Compactación.....	144
5.8.4. Transporte y disposición final.....	145
6. Manual de Operaciones.....	145
6.1. Planta depuradora.....	146
6.1.1. Pre-tratamiento.....	146
6.1.2. Tratamiento primario.....	147
6.1.3. Tratamiento secundario.....	148
6.1.4. Tratamiento terciario.....	150
6.2. Planta potabilizadora.....	151
6.2.1. Tratamiento primario.....	151
6.2.2. Tratamiento terciario.....	153
6.3. Tratamiento de lodos.....	153
7. Cómputo y Presupuesto.....	154
7.1. Inversión inicial.....	154
7.2. Operación y mantenimiento.....	160
7.3. Costos energéticos.....	161

8. EIA.....	162
8.1. Descripción del proyecto.....	162
8.2. Caracterización ambiental del área.....	163
8.2.1. Área de influencia directa.....	163
8.2.2. Área de influencia indirecta.....	163
8.2.3. Medio físico.....	163
8.2.3.1. Climatología.....	163
8.2.3.2. Geología.....	164
8.2.3.3. Glaciología.....	167
8.2.3.4. Suelos, Permafrost y Hielo subterráneo.....	168
8.2.3.5. Limnología.....	168
8.2.4. Medio biológico.....	169
8.2.4.1. Fauna.....	169
8.2.4.2. Flora.....	169
8.2.5. Medio socioeconómico.....	169
8.2.6. Cambio Climático.....	170
8.2.7. Estabilidad del Permafrost.....	170
8.3. Identificación y valoración de impactos.....	170
8.3.1. Acciones del proyecto.....	171
8.3.1.1. Etapa constructiva.....	171
8.3.1.2. Etapa operativa.....	171
8.3.2. Factores ambientales.....	172
8.3.2.1. Medio físico.....	172
8.3.2.2. Medio biológico.....	172
8.3.2.3. Medio socioeconómico.....	172
8.3.3. Metodología.....	173
8.3.4. Matriz de impactos ambientales.....	176
8.4. Análisis de riesgos.....	177
8.5. Plan de gestión ambiental y social.....	178
8.5.1. Plan de mitigación.....	178
8.5.2. Plan de seguimiento y monitoreo.....	181
8.5.3. Plan de contingencias.....	182

8.6. Conclusiones.....	182
9. Conclusiones.....	183
10. Bibliografía.....	183
11. Anexos.....	186
11.1. Anexo I.....	186
11.2. Anexo II.....	188
11.3. Anexo III.....	189
11.4. Anexo IV.....	190
11.5. Anexo V.....	191
11.6. Anexo VI.....	191
11.7. Anexo VII.....	192
12. Planos.....	193
12.1. PTEC.....	194
12.1.1. Canasto.....	194
12.1.2. Cámara desengrasadora.....	195
12.1.3. Ecuilizador.....	196
12.1.4. Reactor biológico.....	197
12.1.5. Sedimentador secundario.....	198
12.1.6. Filtro de carbón activado.....	199
12.1.7. Cámara de luz UV.....	200
12.1.8. Tanque de almacenamiento.....	201
12.1.9. Vista en planta.....	202
12.2. PTAP.....	203
12.2.1. Proceso fisicoquímico.....	203
12.2.2. Sedimentador primario.....	204
12.2.3. Filtro de arena.....	205
12.2.4. Laberinto de cloración.....	206
12.2.5. Vista en planta.....	207

Índice de Tablas

Tabla 1. Capacidad de almacenamiento de cada establecimiento.....	32
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del Lago Boeckella.....	33
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del agua almacenada en distintos establecimientos.....	34
Tabla 4. Consumo de agua potable de cada establecimiento.....	35
Tabla 5. Usos del agua por vivienda y por actividad.....	36
Tabla 6. Características del efluente cloacal de una Base Antártica.....	39
Tabla 7. Cambios en el agua por el vertido del efluente.....	41
Tabla 8. Valores permitidos para agua potable.....	47
Tabla 9. Parámetros de calidad de la descarga límite permisible.....	48
Tabla 10. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para la planta potabilizadora.....	75
Tabla 11. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para el tratamiento secundario de la planta depuradora.....	76
Tabla 12. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para el tratamiento de CE de la planta depuradora.....	77
Tabla 13. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para la gestión de residuos.....	79
Tabla 14. Valores del dimensionamiento del sistema de desbaste por rejillas.....	82
Tabla 15. Valores del dimensionamiento de la cámara desengrasadora.....	85
Tabla 16. Parámetros del efluente cloacal antes y después de la cámara desengrasadora.	86
Tabla 17. Caudales y volúmenes para el dimensionamiento del ecualizador.....	87
Tabla 18. Verificación del volumen del ecualizador.....	89
Tabla 19. Valores del dimensionamiento del ecualizador.....	90
Tabla 20. Valores del dimensionamiento del reactor de mezcla completa de lodos activos..	93
Tabla 21. Valores del dimensionamiento de la zona de sedimentación del sedimentador secundario.....	95
Tabla 22. Valores del dimensionamiento de la zona de entrada del sedimentador secundario.	96
Tabla 23. Valores del dimensionamiento de la zona de lodos del sedimentador secundario	97
Tabla 24. Valores del dimensionamiento de la zona de salida del sedimentador secundario...	98

Tabla 25. Valores de las dimensiones del filtro de carbón activado.....	99
Tabla 26. Valores de remoción del filtro de carbón activado.....	100
Tabla 27. Valores del dimensionamiento de la cámara de luz UV.....	102
Tabla 28. Valores de remoción de CE y coliformes de la cámara de luz UV.....	102
Tabla 29. Valores del dimensionamiento del tanque de coagulación.....	106
Tabla 30. Valores del dimensionamiento del tanque de floculación.....	108
Tabla 31. Valores del dimensionamiento de la zona de sedimentación del sedimentador primario de la planta potabilizadora.....	109
Tabla 32. Valores del dimensionamiento de la zona de entrada del sedimentador primario de la planta potabilizadora.....	109
Tabla 33. Valores del dimensionamiento de la zona de lodos del sedimentador primario de la planta potabilizadora.....	110
Tabla 34. Valores del dimensionamiento de la zona de salida del sedimentador primario de la planta potabilizadora.....	110
Tabla 35. Valores del dimensionamiento del equipo de filtración.....	112
Tabla 36. Valores del dimensionamiento de la cámara de desinfección.....	113
Tabla 37. Valores posibles para el factor de paso at.....	118
Tabla 38. Valores posibles para el factor de recubrimiento au.....	118
Tabla 39. Valores posibles para el factor de diámetro externo de tubería ad.....	119
Tabla 40. Cálculo de la red de distribución de agua potable.....	126
Tabla 41. Listado de materiales de la red de agua potable.....	127
Tabla 42. Cálculo de la red de distribución de agua tratada.....	130
Tabla 43. Listado de materiales de la red de agua tratada.....	131
Tabla 44. Pendientes mínimas según el diámetro de cañería de red cloacal.....	132
Tabla 45. Cálculo de la red cloacal.....	134
Tabla 46. Listado de materiales para la red cloacal.....	134
Tabla 47. Frecuencia de recolección para todos los residuos.....	139
Tabla 48. Procedimiento de operaciones del pre-tratamiento de la PTEC.....	147
Tabla 49. Procedimiento de operaciones del tratamiento primario de la PTEC.....	148
Tabla 50. Procedimiento de operaciones del tratamiento secundario de la PTEC.....	149
Tabla 51. Procedimiento de operaciones del tratamiento terciario de la PTEC.....	151
Tabla 52. Procedimiento de operaciones del tratamiento primario de la PTAP.....	152

Tabla 53. Procedimiento de operaciones del tratamiento terciario de la PTAP.....	154
Tabla 54. Procedimiento de operaciones del tratamiento de lodos.....	155
Tabla 55. Costos de la inversión inicial de la PTAP.....	155
Tabla 56. Costos de la inversión inicial de la PTEC.....	156
Tabla 57. Costos de la inversión inicial de la Planta de lodos.....	157
Tabla 58. Costos de la inversión inicial de los galpones calefaccionados.....	158
Tabla 59. Costos de la inversión inicial de la red de agua potable.....	158
Tabla 60. Costos de la inversión inicial de la red de agua tratada.....	159
Tabla 61. Costos de la inversión inicial de la red cloacal.....	160
Tabla 62. Costos de la inversión inicial de la GIRSU.....	160
Tabla 63. Costos de la operación y mantenimiento del proyecto.....	161
Tabla 64. Costos energéticos del proyecto.....	162
Tabla 65. Condiciones climáticas de la zona.....	164
Tabla 66. Valores para cada parámetro según su clasificación.....	175
Tabla 67. Asignación de colores según el nivel de impacto.....	176
Tabla 68. Matriz de impactos ambientales.....	177
Tabla 69. Posibles valores para el grado de certidumbre (C).....	178
Tabla 70. Posibles valores para la magnitud del daño (M).....	178
Tabla 71. Cuantificación y Clasificación de los riesgos.....	178
Tabla 72. Medida de mitigación N°1.....	179
Tabla 73. Medida de mitigación N°2.....	180
Tabla 74. Medida de mitigación N°3.....	181
Tabla 75. Medida de mitigación N°4.....	181
Tabla 76. Medida de mitigación N°5.....	182
Tabla 77. Cálculos para la cuantificación de impactos de la etapa constructiva.....	193
Tabla 78. Cálculos para la cuantificación de impactos de la etapa operativa.....	194

Índice de Figuras

Imagen 1. Ubicación geográfica del área de la Base Esperanza.....	21
Imagen 2. Vista satelital de la BACE. Coordenadas 63°23'54"S 56°59'46"O.....	27
Imagen 3. Mapa topográfico de la BACE.....	30
Imagen 4. Lago Boeckella.....	30
Imagen 5. Sistema de distribución del agua potable desde la usina hacia el resto de los establecimientos.....	36
Imagen 6. Capas del suelo del galpón calefaccionado.....	52
Imagen 7. Ubicación de los galpones calefaccionados.....	53
Imagen 8. Esquema de una cámara desengrasadora.....	55
Imagen 9. Esquema típico de un proceso de coagulación-floculación y sedimentación.....	59
Imagen 10. Proceso de un sistema de lodos activados.....	65
Imagen 11. Proceso del reactor por lotes secuenciales.....	67
Imagen 12. Tren de tratamiento de lodos.....	72
Imagen 13. Tren de tratamiento de la planta potabilizadora.....	76
Imagen 14. Tren de tratamiento de la planta depuradora.....	79
Imagen 15. Evolución del volumen real acumulado (en rojo) y del volumen medio acumulado (en azul) en un día.....	88
Imagen 16. Esquema de lodos activos + sedimentador secundario junto a las variables fisicoquímicas de interés.....	91
Imagen 17. Tipos de construcción de suelo radiante.....	116
Imagen 18. Curva característica de rendimiento del comportamiento térmico.....	121
Imagen 19. Ejemplo de red ramificada de distribución de agua potable.....	123
Imagen 20. Sistema de distribución de agua potable.....	124
Imagen 21. Simulación de la red potable en EPANET.....	127
Imagen 22. Sistema de distribución de agua tratada.....	129
Imagen 23. Simulación de la red de agua tratada en EPANET.....	130
Imagen 24. Diseño de la red cloacal.....	132
Imagen 25. Disposición de las redes de caños en la BACE.....	135
Imagen 26. Ruta de recolección de los residuos I a IV y V húmedos.....	141
Imagen 27. Ruta de recolección de los residuos secos del grupo V.....	141

Imagen 28. Ejemplo de etiquetas clasificatorias de residuos.....	142
Imagen 29. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo I.....	143
Imagen 30. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo II.....	143
Imagen 31. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo III.....	144
Imagen 32. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo IV.....	144
Imagen 33. Etiqueta identificatoria para los residuos húmedos del grupo V.....	145
Imagen 34. Etiqueta identificatoria para los residuos secos del grupo V.....	145
Imagen 35. Prensa Vertical de Capial Máquinas.....	146
Imagen 36. Mapa Geológico de la Costa Austral de Bahía Esperanza y el Monte Flora....	166
Imagen 37. Características del aireador sumergible Tsurumi 32TRN2.75.....	190
Imagen 38. Características del filtro de carbón activado.....	191
Imagen 39. Características del Mezclador estático Verdermix VMW Series.....	191
Imagen 40. Especificaciones técnicas del equipo MDS-051.....	192
Imagen 41. Características técnicas del equipo Freez Stop Regular (FSR) de la marca Heat-Trace Argentina.....	193

Tabla de Acrónimos

Abreviatura	Significado
BACE	Base Antártica Conjunta Esperanza
COCOANTAR	Comando Conjunto Antártico
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
NTK	Nitrógeno Total Kjeldahl
SS	Sólidos Suspendidos
PPCP's	Productos farmacéuticos y de cuidado personal
Cd	Cadmio
Pb	Plomo
As	Arsénico
Cu	Cobre
Zn	Zinc
COD	Carbono Orgánico Disuelto
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSR	Sólidos Suspendidos Removidos
SS20'	Sólidos Suspendidos en 20 minutos
SS2h	Sólidos Suspendidos en 2 horas
SBR	Reactor Secuencial Batch
CE	Contaminantes Emergentes
PTAP	Planta de tratamiento de agua potable
PTEC	Planta de tratamiento de efluentes cloacales
EPP	Equipos de protección personal

Resumen ejecutivo

El presente proyecto describe el diseño del tratamiento de efluentes cloacales, la potabilización de agua y la gestión de residuos en la Base Antártica Conjunta Esperanza (BACE) de la Antártida. Esto abarca el diseño de las plantas de tratamiento, los galpones calefaccionados donde estarán instaladas, y las redes de distribución de agua y recolección de los efluentes cloacales. El proyecto surge a raíz de la importancia de preservar el ecosistema único y frágil de la región antártica, así como la necesidad de proteger la salud de los habitantes de las bases científicas.

La BACE cuenta con aproximadamente 66 personas que residen durante todo un año, los llamados “permanentes”, entre mujeres, hombres y niños. Durante la Campaña Antártica de Verano (“CAV”, por sus siglas) la dotación se ve incrementada por la presencia de investigadores y personal de trabajo, pudiendo alcanzar una población de hasta 142 personas, según la campaña en cuestión. Estos habitantes se distribuyen en 12 casas familiares y una casa principal. Además, la BACE cuenta con una jefatura, una escuela, un laboratorio y una enfermería. El diseño del proyecto cubrirá la demanda de todos estos establecimientos.

El agua para consumo humano es extraída del Lago Boeckella, para su posterior potabilización y distribución, verificando cumplir con los valores establecidos para agua potable por el Código Alimentario Argentino. Los efluentes cloacales son recolectados por una red que los dirige hacia la planta de tratamiento de efluentes cloacales. En esta se incorpora una etapa de tratamiento de contaminantes emergentes con un filtro de carbón activado combinado con luz ultravioleta, debido a que se ha detectado presencia de estos contaminantes en la región antártica. Además, se contempla el reuso de parte del agua tratada para los baños, reduciendo el uso y la explotación de agua potable. El agua que no es reutilizada se vuelca en el chorrillo Prasiola, conforme a los parámetros establecidos por el Decreto N°1333/93 Reglamentario de la Ley Provincial N°55 de Tierra del Fuego. Todos los caños diseñados cuentan con un sistema de calefacción para evitar su congelamiento.

Como parte del proyecto, se elaboró un manual de operaciones para las plantas para garantizar una correcta operación en todo momento, contemplando que el personal recambia año a año.

La gestión de residuos contempla la disposición inicial en tachos diferenciados, la recolección y la disposición final en tambores diferenciados. Además, se contempla la obtención de una máquina compactadora de tambores, a fin de reducir el volumen de los residuos generados.

Por último, se realizó un estudio de impacto ambiental donde se relevan los impactos que tendrá el proyecto sobre los componentes ambientales del medio, y se elaboró un plan de gestión ambiental y social, con medidas establecidas para disminuir o mitigar posibles impactos negativos. En dicho estudio se concluye que el proyecto es ambientalmente viable.

1. Introducción

1.1. La Antártida

La Antártida es uno de los seis continentes de la Tierra y el cuarto de mayor tamaño. Con una extensión aproximada de casi 14 millones de kilómetros cuadrados, representa el 9,4 % del total de la superficie terrestre del planeta. Durante el invierno, cuando las aguas del océano Glaciar Antártico que rodea al continente se congelan, su extensión puede aumentar hasta los 30 millones de kilómetros cuadrados. Debido a su posición geográfica, la Antártida tiene condiciones climáticas extremadamente frías con temperaturas promedio entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es el continente más elevado, con una altitud promedio de 2500 metros sobre el nivel del mar, y el más seco del mundo, con precipitaciones anuales que rara vez superan los 200 mm. A pesar de que la precipitación de la Antártida es comparable con las zonas más secas del mundo, el continente es un generador de hielo natural, contando con aproximadamente el 80% del agua dulce de todo el planeta almacenada en forma de nieve, enormes glaciares y extensos casquetes polares. El cambio climático amenaza este reservorio natural de agua dulce, ya que aumentan el nivel de deshielo y desprendimiento de grandes bloques de hielo (Silva Busso, 2009).

Respecto de la población, en la Antártida no hay personas que residan de manera permanente. No hay ciudades ni pueblos en este continente, y la población humana que se encuentra allí lo hace de manera temporal. Las personas que viajan a la Antártida suelen hacerlo por períodos limitados, principalmente para realizar tareas de investigación. Ninguna persona puede permanecer por más de un año en una base antártica, por lo que año a año se recambia el personal entero de todas las bases. Es además un continente en el que se trabaja mucho por la preservación ambiental, por lo que hay limitaciones estrictas en la cantidad de personas que pueden estar presentes. Se estima que la población total de la Antártida es de aproximadamente 4.000 personas, aunque esto varía según la temporada y las necesidades de investigación. Estas personas viven y trabajan en las más de 70 bases de investigación permanentes (se le llama permanente a las bases donde la gente permanece durante un año) y temporales (donde solo se habitan en ciertas épocas o momentos del año) que se encuentran en el continente y pertenecen a países como la Argentina, Chile, Estados Unidos e Inglaterra, entre otros (Sposob, 2023).

Una de las características más peculiares del continente antártico es que ningún país ejerce soberanía efectiva sobre su territorio. La administración de los asuntos políticos, científicos y económicos que suceden en la Antártida está a cargo de los países miembros

del Tratado Antártico. El Tratado Antártico fue firmado en el año 1959 en la ciudad de Washington, en Estados Unidos. Los doce países firmantes y que, por lo tanto, tienen un sector de la Antártida bajo su administración son: Estados Unidos y Rusia (forman parte del Tratado Antártico porque fueron los dos países impulsores del tratado), Chile, Argentina, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda (que forman parte del Tratado Antártico por ser los países del mundo más cercanos a la Antártida), Bélgica, Francia, Japón y Noruega (que forman parte del Tratado Antártico porque tenían bases y estaciones de investigación en la Antártida previo a la firma del tratado) y Gran Bretaña (que forma parte del Tratado Antártico porque tenía territorios coloniales cercanos a la Antártida). Los miembros del Tratado Antártico se reúnen anualmente para discutir cuestiones relacionadas con la administración del continente. La toma de decisiones se basa en un sistema de consenso, lo que significa que no se toma ninguna decisión si no están todos los países miembro de acuerdo. Este tratado establece y regula las actividades y acciones que los países miembros pueden realizar sobre el continente. Determina que sólo pueden realizarse investigaciones científicas con fines pacíficos, y prohíbe cualquier actividad que pueda generar cualquier deterioro ambiental en el continente (Sanz Roldán, 2021). En 1991 se firma el Protocolo de Madrid al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, que procura una amplia protección del medio ambiente de la Antártida, y de los ecosistemas dependientes o asociados.

La Antártida es considerada una de las últimas áreas no contaminadas (prístinas) de nuestro planeta, debido a su aislamiento y lejanía de los grandes centros industriales y urbanos. Los primeros estudios que detectaron presencia de contaminantes químicos en Antártida sugirieron que los mismos estarían relacionados con el transporte global, pero posteriores estudios demostraron la existencia de halos de contaminación (principalmente metales pesados e hidrocarburos) en los alrededores de las estaciones científicas, que disminuyen rápidamente desde los focos de emisión. La operación de las estaciones científicas y las actividades turísticas, junto con sus respectivas logísticas asociadas, han sido identificadas como las responsables de estos procesos de contaminación local. Estos halos contrastan fuertemente con el concepto de ambiente prístino y obliga a la toma de medidas para su mitigación.

En un estudio de la revista especializada *Journal of Hazardous Materials*, se han identificado en muestras de distintas aguas hasta 7 productos farmacéuticos, entre los que se incluyen la nicotina, la cafeína, los antidepresivos o los filtros UV (Postigo et al., 2023). Otro estudio, publicado a principios de 2023 en la revista *Lancet Planetary Health*, descubrió residuos de antibióticos en el agua potable, los ríos y los océanos del Sudeste Asiático y

Pacífico Occidental. Y otra investigación, realizada por la Universidad Internacional de Florida, detectó rastros de antidepresivos y medicamentos para el corazón en casi todas las muestras que analizaron. Y en estos casos la contaminación hídrica se atribuyó a los sistemas de desagüe, por el vertido de medicamentos o drogas por el inodoro. Los investigadores analizaron muestras de fuentes muy diversas, como arroyos, lagunas, manantiales e incluso agua marina costera. También se han muestreado zonas afectadas por actividades antrópicas (bases, campamentos y turismo) y áreas sin aparente presencia humana o animal. También hay otros compuestos orgánicos hallados cuya presencia no se puede atribuir a la actividad humana.

A raíz de esto, la comunidad científica y los responsables de las operaciones logísticas reconocieron la necesidad e importancia del monitoreo ambiental en Antártida como herramienta de gestión y toma de decisiones. Si bien en los últimos años se han realizado importantes avances tanto en el manejo de las actividades logísticas y en el monitoreo ambiental en Antártida, la información disponible para los sistemas hidrológicos superficiales y subsuperficiales resulta escasa.

En la actualidad, somos el país que más bases de investigación científica posee en la región, con siete permanentes y seis temporarias. Para reaprovisionarlas, el Comando Operacional del Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas planifica y conduce las campañas antárticas de verano (CAV). Estas operaciones militares logísticas tienen como principio rector dar apoyo al Programa Antártico Argentino, confeccionado por la Dirección Nacional del Antártico. De este organismo depende el Instituto Antártico Argentino, establecimiento que nuclea a los científicos que trabajan en la región Antártica.

1.2. Base Esperanza

Una de las bases argentinas es La Base Antártica Conjunta Esperanza (BACE), que fue fundada el 17 de diciembre de 1953. Está ubicada en la bahía Esperanza, en la península Trinidad, que se halla sobre el estrecho del Antártico en la península Antártica (o Tierra de San Martín), en las coordenadas 63° 23'54" S, 56° 59'46" W, y funciona como base permanente. Su temperatura media es de -10°C en invierno y 0,2°C en verano, con temperaturas extraordinarias registradas en los últimos años, llegando a medir hasta 17,5°C, la mayor de la Antártida continental.

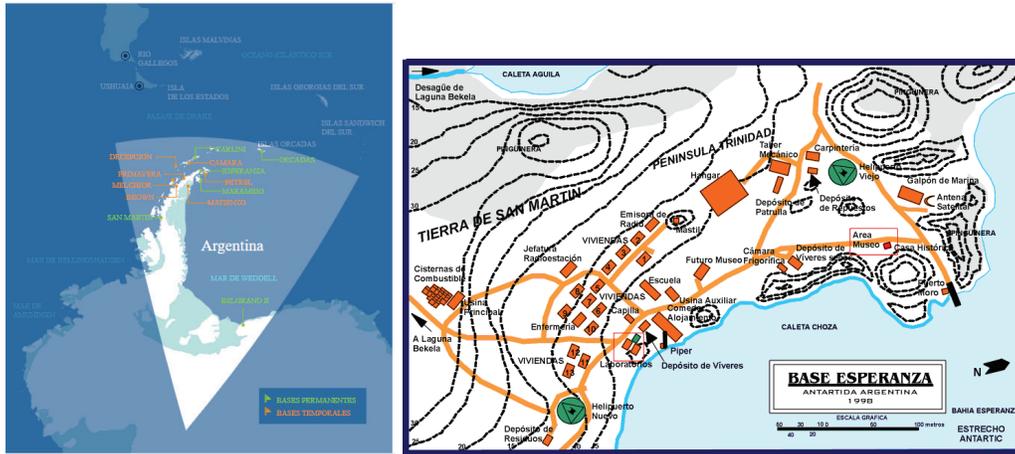


Imagen 1. Ubicación geográfica del área de la Base Esperanza

Fuente: The Globe Program

La logística de la BACE depende del Comando Conjunto Antártico, organismo estatal bajo dependencia del Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas, del Ministerio de Defensa. Cuenta con una población promedio de 66 personas, incluyendo 9 familias con 16 niños (censo de octubre de 2010) en invierno, y 142 personas en verano, distribuidas en 12 casas. El número exacto puede variar año a año, según la dotación de personas de la nueva rotación. Las tareas que se desarrollan incluyen reconocimientos y exploración del terreno y la geografía, construcción de refugios, estudios de topografía, meteorología y mareografía. Todas ellas tendientes a afianzar la soberanía del país en el Territorio Antártico y dar a conocer nuestra posición ante los demás países del mundo. Además, se desarrollan actividades científicas de glaciología, sismología en convenio con Italia, oceanografía en convenio con los Estados Unidos, biología costera, geología, limnología y mareografía. Tiene una laguna cercana, a unos 1000 metros de distancia, que recibe agua todo el año, producto del deshielo de los glaciares que la rodean.

1.3. Justificación del proyecto

La disponibilidad de agua potable y segura es crucial para garantizar la salud y el bienestar de los habitantes de una base (Interlandi, 2021). En la Antártida, donde los recursos hídricos son de difícil obtención y susceptibles a la contaminación, es necesario contar con una planta potabilizadora de agua que pueda tratar y purificar las fuentes de agua disponibles. Esto permitirá abastecer de manera confiable y sostenible las necesidades de consumo humano, minimizando los riesgos para la salud asociados con el consumo de agua no tratada. Asimismo, se debe garantizar el suministro durante todo el

año, al tratarse de una base permanente. Para esto, es fundamental considerar las complicaciones que surgen debido a las condiciones climáticas durante el invierno.

Luego, en cuanto a los efluentes cloacales, en el Artículo 5 del Anexo III del Protocolo, se establece que en las bases donde haya un promedio semanal de más de 30 personas, es obligatorio tratar los efluentes al menos por maceración. Se pueden utilizar otros métodos de tratamiento a fin de minimizar la carga de microorganismos patógenos que puedan afectar el ecosistema marino. La falta de un sistema adecuado de tratamiento de efluentes cloacales puede resultar en la liberación de contaminantes y nutrientes en el medio ambiente antártico. Estos efluentes pueden afectar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos, comprometiéndolos la biodiversidad y la salud de las especies nativas. Además, la exposición a estos contaminantes puede representar riesgos para la salud de los habitantes de la base. Por lo tanto, es esencial implementar un sistema de tratamiento de efluentes cloacales eficiente que cumpla con los estándares de calidad ambiental establecidos en el Protocolo de Madrid. El Protocolo autoriza a eliminar dentro del área del tratado a las aguas residuales y los residuos líquidos domésticos, siempre y cuando se respeten las normas que surgen del mismo. Además, dadas las condiciones prístinas del sitio, en este proyecto se considera que el tratamiento de efluentes deberá contemplar los estándares máximos para asegurar la preservación de la biota y del hábitat. Para lograr esto, como parte del diseño se va a incorporar el tratamiento de contaminantes emergentes. Si bien el Protocolo de Madrid al Tratado Antártico firmado en el año 1991 establece que los efluentes deben ser tratados, los límites para los contaminantes emergentes no están regulados. Por este motivo, se utilizarán normativas internacionales. Además, se estudiará lo implementado en otras bases en sistemas de tratamiento adecuados a temperaturas y condiciones extremas.

En cuanto a los residuos, la generación y gestión inadecuada pueden tener efectos perjudiciales en el entorno antártico. Los residuos mal gestionados pueden contaminar el suelo, el agua y el aire, amenazando la vida silvestre y alterando los procesos ecológicos. Por esto, el Protocolo de Madrid establece la clasificación, la gestión, los posibles tratamientos y las posibles disposiciones finales de los residuos. Además, la acumulación de residuos puede afectar negativamente la estética del paisaje antártico, contradiciendo los principios de conservación y protección del medio ambiente establecidos en el Protocolo. Por lo tanto, es esencial implementar un sistema de gestión integral de residuos que promueva la reducción, reutilización y reciclaje, minimizando la generación de residuos y su impacto ambiental.

En resumen, este proyecto se justifica en virtud del Protocolo de Madrid y la necesidad imperante de garantizar la protección del medio ambiente antártico y la salud de los habitantes de la Base Esperanza. La implementación de un sistema de tratamiento de efluentes cloacales, una planta potabilizadora de agua y una gestión integral adecuada de residuos en la base contribuirá a cumplir con los principios y obligaciones establecidos en el Protocolo, promoviendo una gestión ambiental responsable y sostenible en este entorno único y frágil.

1.4. Objetivos

El presente proyecto tiene como objetivo principal abordar el desafío del tratamiento de efluentes cloacales, la potabilización de agua y la gestión de residuos en la Base Esperanza de la Antártida. Considerando la importancia de preservar el ecosistema único y frágil de la región antártica, así como la necesidad de proteger la salud de los habitantes de las bases científicas, se propone desarrollar una solución integral y sostenible para el diseño de las plantas de tratamiento y de la gestión de residuos en esta base, e implementar medidas de gestión ambiental efectivas, con el fin de minimizar el impacto negativo de las actividades humanas en este ecosistema.

1.4.1. Objetivos específicos

Para cumplir con los objetivos establecidos, es necesario lograr los siguientes objetivos específicos:

- Cuidar y preservar el ambiente prístino de la Antártida
- Minimizar el uso de agua
- Diseñar la planta de potabilización de agua
- Diseñar la planta depuradora
- Diseñar la red cloacal
- Diseñar la red de distribución de agua potable
- Diseñar la gestión de residuos
- Diseñar los galpones calefaccionados
- Elaborar manuales de operación para las plantas

1.5. Metodología

Para el diseño del proyecto, en primer lugar se relevarán y se evaluarán las condiciones actuales de la BACE, a fin de generar un diagnóstico de la situación y tener una

mejor comprensión de las características tanto de la fuente de provisión de agua, de los efluentes cloacales y de los residuos. Una vez caracterizado esto, se procederá a la evaluación de alternativas y posterior diseño de las plantas de tratamiento y de la gestión de los residuos, considerando elegir las alternativas más eficientes teniendo en cuenta los valores que se deben alcanzar, los costos económicos, y las condiciones particulares de logística y mantenimiento.

El diseño de la planta potabilizadora (PTAP) incluirá desde la captación del agua, hasta su tratamiento y distribución. Esto implica el bombeo de agua desde el lago, transportada por caños hasta la planta, que estará dentro de un galpón calefaccionado. Dado que enterrar los caños no es una posibilidad por la existencia de la capa de permafrost, es crucial considerar alternativas para evitar su congelamiento (como por ejemplo, el uso de cintas calefactoras) ya que estarán expuestos a muy bajas temperaturas. Luego, el agua se trata en la planta con un tratamiento primario y posteriormente una desinfección, para finalmente ser distribuida hacia las casas. Para su tratamiento, se cuenta con dos alternativas. En ambas opciones, el tratamiento primario será el mismo, el cual implicará los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Luego, una alternativa comprenderá el uso de cloro para la desinfección, mientras que otra será mediante luz UV para la misma finalidad.

Para la planta depuradora (PTEC) se diseñará la red cloacal para las casas, para llevar las aguas hacia la planta, que también estará dentro de otro galpón calefaccionado. Al igual que para los caños de la planta potabilizadora, se evaluará el uso de cintas calefactoras para evitar su congelamiento. A su vez, teniendo en cuenta la necesidad de minimizar el uso de agua, se diseñará un sistema de separación de las distintas corrientes de aguas (potable, grises y negras) con reuso de los efluentes tratados. Luego, dentro del galpón, el tren de tratamiento incluirá un pretratamiento, un tratamiento secundario, una desinfección y finalizará con un tratamiento de contaminantes emergentes, con un diseño de planta modular para facilitar su traslado e instalación. Para esto, se proponen distintas alternativas. En todas las opciones, el pretratamiento se realizará con un sistema de canasto y un desengrasador, seguido por un ecualizador. Luego, una alternativa contemplará el uso de lodos activos y un sedimentador secundario para el tratamiento secundario, mientras que la segunda alternativa será mediante el uso de un reactor SBR (Sequencing Batch Reactor – Reactor secuencial batch). Para la desinfección, al igual que en la planta potabilizadora, se evaluará el uso de cloro, luz ultravioleta (UV) o carbón activado. Finalmente, para el tratamiento de contaminantes emergentes se evaluará el uso de distintas tecnologías que están surgiendo, considerando las particularidades de la zona.

Entre algunas de estas alternativas se encuentran el uso de procesos de oxidación avanzada y carbón activado. Finalmente, la disposición final de la parte que no pueda ser reutilizada será mediante el vuelco del efluente tratado en un cuerpo de agua de la BACE.

Además, se va a diseñar una gestión integral de residuos que contemple la correcta disposición inicial y almacenamiento de los residuos en tambores, teniendo en cuenta que deberán ser almacenados hasta su retiro, el cual sucederá una o dos veces por año en buques de la Armada de la República Argentina (ARA) por las características de accesibilidad a la BACE. Luego, se evaluarán distintas opciones para su disposición final ya en territorio argentino, pudiendo ser en el relleno sanitario de Ushuaia o en la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE).

Por último, se elaborarán manuales de operación detallados del funcionamiento de los procesos de cada planta y de las máquinas, a sabiendas de que el personal de la Antártida se renueva anualmente, y la operación de los equipos es particular y esencial dadas las características climáticas de la zona.

2. Diagnóstico

Para poder diseñar correctamente cada sistema, es fundamental generar un buen relevamiento de la BACE para poder comprender su situación actual y sus necesidades. Además, esto permitirá entender las distintas fuentes de contaminación que se generan, entre efluentes y residuos, por las distintas actividades realizadas. Cabe aclarar que el diagnóstico busca tener la mayor similitud con la situación real, pero fue adaptado a las necesidades del alcance del proyecto.

2.1. Descripción de la BACE

La BACE se halla ubicada en el extremo norte de la península Antártica, en un área libre de hielos durante la temporada estival que forma una prolongación terrestre sobre la costa sur de la bahía Esperanza. Está ubicada en la península Trinidad de la bahía Esperanza, que se halla sobre el estrecho del Antártico en la península Antártica (o Tierra de San Martín), en las coordenadas 63° 23'54" S, 56° 59'46" W, a 25 msnm y 30 metros de la costa. Cuenta con una infraestructura importante, parte de la cual se halla destinada a servir de alojamiento para su dotación, sea durante las campañas de verano o la invernada (Aves Argentinas, 2003).

El acceso a la BACE es desde el mar, por el Puerto Moro. Constituye un muelle pequeño de madera, con una construcción que hace las veces de refugio, depósito y/o recepción. En las rocas al norte de este sector, se encuentra la moderna estación de medición del nivel del mar (mareógrafo) “Esperanza”. Desde puerto Moro se llega a las instalaciones principales por la calle principal, pasando frente al llamado “Galpón de la Marina”, en cuyo lateral puede advertirse la antena satelital que permite las comunicaciones de la BACE (Aves Argentinas, 2003).

Continuando por el camino principal se encuentran dispuestos elementos históricos. Aquí destacan los restos de la denominada “choza de los suecos”. Desde el camino y hacia la derecha se advierte el mástil de la bandera, busto del general José de San Martín y la llamada “gruta de la virgen de Luján”. Un poco más arriba puede verse una serie de cruces blancas, que recuerdan a los miembros de expediciones antárticas que murieron en el área. Más adelante se hallan galpones de depósitos de víveres y frigoríficos. Siguen luego el Museo Esperanza, la Casa Principal, próxima a la cual está el edificio de la Escuela N° 38. Debajo de las instalaciones del colegio se encuentra un pequeño gimnasio. En otro edificio próximo al museo, se realiza el tratamiento de las aguas servidas. Finalmente se llega al sector del nuevo helipuerto (Aves Argentinas, 2003).

Completan las construcciones 12 casas familiares (que juntas forman el llamado Fortín Sargento Cabral), la estación de LRA 36 Radio Nacional Arcángel San Gabriel (15.476 khz, banda de 19 m, primera radioemisora instalada en la Antártida), la enfermería, que posee un servicio de odontología elemental, rayos X, internación y sala de cirugía, y la jefatura y estación de radio. Un poco más alejadas hacia el sur, están el edificio de la usina principal, y las cisternas de combustible. Este último es provisto anualmente a granel y contiene gas oil antártico, nafta JP1, y alcohol de quemar. La usina cuenta con motores Caterpillar, que generan la energía eléctrica para la BACE (Aves Argentinas, 2003).

Una vista satelital de la BACE puede verse a continuación.



Imagen 2. Vista satelital de la BACE. Coordenadas 63°23'54"S 56°59'46"O

En la imagen se pueden observar la distribución de los establecimientos mencionados, como manchas de verde oscuro.

2.1.1. Población

Los grupos familiares se alojan en casas, mientras que el personal que no reside con familia lo hace, por lo general, en las dependencias del denominado “casino”. Durante todo el año residen en total 66 personas, los llamados “permanentes”, entre mujeres, hombres y niños. Durante la Campaña Antártica de Verano (“CAV”, por sus siglas) la dotación se ve incrementada por la presencia de investigadores y personal de trabajo pudiendo llegar hasta 142 personas, que aprovechan los meses estivales para realizar las construcciones o reparaciones que hagan falta.

Para el diseño de este proyecto, se va a considerar que la población se mantendrá constante a lo largo de los años y no se hará una proyección de población, debido a las características de la región que dificultan su expansión y que desde su establecimiento no hubo grandes incrementos en su población al siempre tener recambio anual de gente.

2.1.2. Usos y ocupaciones

En la BACE se desarrollan distintos tipos de actividades, las cuales son llevadas a cabo en parte por las familias, en parte por el personal del ejército y en parte por investigadores.

Dentro de las tareas científicas, existe el grupo de mareografía, de sismografía, sismología y análisis de datos sísmicos (Estación sismológica permanente), glaciología, biología, monitoreo de colonias de pingüinos, geología, paleontología, limnología, ecología y gestión ambiental.

En cuanto a las actividades militares, se comprenden de labores de logística y de mantenimiento de la base y de refugios, reconocimientos y exploración, mantenimiento de la capacidad de búsqueda, salvamento y rescate, apoyo sanitario, comunicaciones de las expediciones, bases, buques y aeronaves nacionales y extranjeras, sostén logístico a la actividad científica, mantenimiento de antenas satelitales.

Existen puestos de Auxiliares de Base y tienen asignadas tareas administrativas en la jefatura de la base, apoyo a la Escuela N°38, organización y funcionamiento de la biblioteca, locución y programación en LRA 36 y la recepción de los visitantes que arriban en los buques de turismo.

La escuela cuenta con dos docentes cuya dependencia corresponde al Ministerio de Educación de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

2.1.3. Servicios

La BACE cuenta con un sistema de distribución de agua potable y un sistema de cañerías para coleccionar los efluentes cloacales.

Las provisiones son transportadas cada verano por el Rompehielos Almirante Irizar y descargadas por medio de helicópteros o gomones. Desde la Base Marambio se realiza apoyo adicional, a través de un avión Twin Otter, que aneviza en el glaciar Esperanza.

La BACE cuenta con un servicio postal del Correo Argentino, servicio telefónico (DDI y DDN) e Internet. La comunicación radioeléctrica se realiza a través del servicio de radioaficionados (LU1ZV).

En cuanto al transporte, la BACE cuenta con una camioneta Ford Ranger y una Toyota Hilux para el traslado de las personas por el territorio. Además, cuenta con un manipulador telescópico marca Manitou, de gran importancia para la movilidad de las cargas y el movimiento buque-playa.

2.1.4. Condiciones climáticas

La zona de la BACE se caracteriza por tener fuertes vientos provenientes del noroeste que en ocasiones superan los 200 km/h. Esto no solo dificulta las tareas sino que también implica un descenso considerable de la sensación térmica. La temperatura media anual es de $-5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, con temperaturas medias de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en invierno y $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en verano, como se ha mencionado previamente. No hay tormentas eléctricas, y lluvias moderadas, con un promedio de precipitaciones de 60 mm por mes. A tener en cuenta son los días de nevadas, que pueden ocurrir hasta una vez cada dos días (considerando días de nevadas aquellos donde cae más de 1 mm en el día).

2.1.5. Topografía

Las características topográficas de la BACE son importantes a la hora del diseño de un proyecto de este tipo, ya que serán fundamentales para definir la ubicación de los galpones y el diseño de las redes. A continuación se presenta un mapa topográfico del terreno de la BACE, con una escala de 1:1000. En violeta se pueden ver las cotas de nivel.

REFERENCIAS:

- 1- Jefatura - Radioestación - Meteorología - Central telefónica - Estación Satelital
- 2- LRA 36 Radio Nacional "Arcangel San Gabriel"
- 3- Casino - Cocina - Salón Comedor - Alojamiento
- 4- Escuela nro38 Julio A. Roca
- 5- Enfermería
- 6- Depósito de Víveres Secos
- 7- Depósito de Material de Instalaciones
- 8- Museo
- 9- Cámara Frigorífica
- 10- Depósito de Materiales
- 11- Carpintería
- 12- Depósito de Marina
- 13- Depósito de Repuestos de taller mecanico
- 14- Depósito de Mangueras
- 15- Depósito de Víveres
- 16- Capilla "San Francisco de Asis"
- 17- Depósito (ex-veterinaria)
- 18- Depósito "Puerto Moro"
- 19- Sismógrafo
- 20- Usina Principal
- 21- Parque Automotor
- 22- Planta de tratamiento cloacal
- 23- "Refugio Independencia"
- 24- Galpón de Usos Múltiples
- 25- Casa Histórica
- 26- Helipuerto Nuevo
- 27- Helipuerto Viejo
- 28- Sistemas de combustible
- 29- Laboratorio

I : Casa de Familia - Jefe de Base
II a V y VIII a XIII : Casa de Familia
VI : Laboratorio LABE

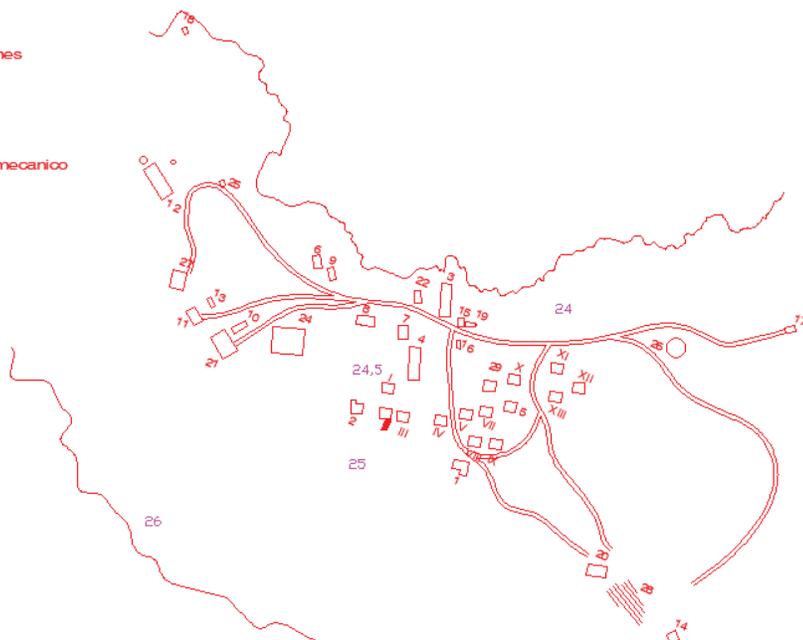


Imagen 3. Mapa topográfico de la BACE.

Fuente: Comando Conjunto Antártico.

2.2. Obtención de agua potable

2.2.1. Fuente de obtención

La BACE cuenta con una laguna cercana, denominada Lago Boeckella, a unos 1000 metros de distancia hacia el sur. Es de origen glaciario, y recibe agua producto del deshielo de los glaciares que la rodean, en especial del glaciar Buenos Aires. Esto sucede mayormente en verano, donde el día tiene más horas de luz y las temperaturas superan los cero grados. El lago tiene un efluente llamado chorrillo Prasiola (nombre no oficial), que descarga al mar. El caudal de este chorrillo se incrementa durante la temporada estival debido al descongelamiento.



Imagen 4. Lago Boeckella.

Fuente: Aves Argentinas, 2003

El lago está ubicado al pie del Glaciar Buenos Aires y se encuentra refugiada por paredes de hielo del propio Glaciar y morenas provenientes del Monte Flora y del Glaciar Flora. Estos accidentes naturales están ubicados al sur del espejo de agua. En época invernal la superficie del lago queda congelada, pudiendo llegar a un pack de hielo que suele superar en promedio los ochenta (80) cm de espesor (Comando Conjunto Antártico, 2023). Tiene un área de 67454 m² y una profundidad máxima de 5,8 m. Durante casi todo el verano generalmente permanece descongelado y puede considerarse un cuerpo de agua

mesotrófico (es decir, que contiene una cantidad adecuada de nutrientes y minerales). En las proximidades del lago se concentran escúas y gaviotas cocineras.

Sin embargo, cuenta con ciertos inconvenientes que persisten hasta el día de hoy. En primer lugar, las temperaturas en invierno hacen que se congele el agua dentro de los caños, lo que imposibilita la distribución del agua e incluso puede llegar a dañar el sistema. Además, otro problema es que en época invernal o durante temporales, que es algo muy frecuente y constante, la temperatura, el viento y la nieve castigan con fuerza al responsable del control y mantenimiento del sistema. Esto implica que todas las casas, familias con sus hijos y dependencias (como cocina y talleres, enfermería, etc.) tengan que conseguir el agua de otra manera. Por ejemplo, una alternativa usual que se realiza es la tarea de salir a los alrededores de la BACE a juntar nieve o picar hielo para luego derretir y consumir (Interlandi, 2021). Esto es una actividad laboriosa y dificultosa debido a las condiciones climáticas de la zona y se trata de algo tan esencial para la vida de las personas como lo es el consumo de agua potable, por lo que es evidente que se necesita mejorar y optimizar este proceso.

2.2.2. Método de transporte

El lago mencionado tiene en su superficie una bomba multietapas de 1,5 HP, resguardada en una pequeña Casilla para evitar que los factores meteorológicos afecten estos materiales sintéticos, que podrían llegar a contaminar el agua a través de su corrosión o degradación. El sistema cuenta con una cañería en su fondo que succiona el agua por medio de una cañería de 1" que se extiende desde este sitio hasta el sector de almacenamiento. Se extrae agua del lago más de una vez a la semana, actividad que dura entre 4 y 6 horas, y es controlada por los especialistas mecánicos de las instalaciones.

2.2.3. Almacenamiento

El almacenamiento del agua dulce obtenida del lago se acumula en dos tanques cisternas con capacidad de 10.000 litros cada uno, ubicados en el interior del recinto de la Usina, para que a través de la temperatura ambiente elevada a causa del funcionamiento de los motores generadores se evite el congelamiento del agua obtenida y sea conservada de manera adecuada para su disposición.

Además, cada vivienda, local y/o dependencia de la BACE, posee en su interior un tanque con capacidad de 800 litros cada uno para el consumo general, mientras que la

Casa Principal almacena 10.000 litros dentro de sus instalaciones, para el consumo general y calefacción.

El Establecimiento Educativo Esperanza cuenta con un tanque de almacenamiento de 6.000 litros, los cuales son utilizados para el consumo general y calefacción.

El agua debe ser regulada bajo estricto control de cada Jefe de familia, logístico y Jefe de la Base, ya que como en el caso anterior, se cuida de no derramarla y mucho menos de darle mal uso (Interlandi, 2021).

Se puede observar que la capacidad de almacenamiento de los tanques cisterna de la Usina son suficientes para cubrir la demanda de todo el resto de los establecimientos. A continuación se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Capacidad de almacenamiento de cada establecimiento.

Establecimiento	Capacidad de almacenamiento (l)	Cantidad	Total
Usina	10000	2	20000
Viviendas y Dependencias	800	1	800
Casa principal	10000	1	10000
Establecimiento Educativo Esperanza	6000	1	6000

Fuente: Comando Conjunto Antártico.

2.2.4. Caracterización del agua

El Lago Boeckella ha sido estudiado a lo largo de los años en varias campañas antárticas (CA), a fin de comprender las características del mismo y poder diseñar un tratamiento.

Este cuerpo de agua limita con una pingüinera. Por este motivo, las aguas de escorrentía que pasan por estos suelos acarrean nutrientes que llegan al lago. La actividad presente de los pingüinos, además de aportar nutrientes al cuerpo de agua, aporta sales minerales que estas aves traen del mar. Igualmente, los valores de conductividad del lago no son muy elevados ya que éste es alimentado por afluentes de deshielo y por la nieve, lo que genera un importante efecto de dilución. Sin embargo, el Lago Boeckella recibe aguas del chorrillo Flora, que presenta concentraciones elevadas de fosfatos dado que atraviesa la pingüinera, donde se acumula el guano de los animales.

A continuación se muestra una tabla con valores promedio de los parámetros físicos y químicos de cuatro campañas, observándose sus variaciones intra e interanuales.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del Lago Boeckella.

Parámetro	Unidades	CA 1998	CA 1999	CA 2001	CA 2002	CA 2022
Temperatura	°C	2,14	2,36	1,26	3,1	4,3
pH	unidades de pH	6,94	6,68	6,65	6,66	9,2
Coliformes totales	NMP/100 ml					50
Conductividad	µS/cm	27	48	401	73	86,7
Oxígeno disuelto	mg/l	12,57	12,6	13,97		12,1
Sólidos Totales Disueltos	mg/l					54,4
Fósforo Reactivo Soluble (FRS)	mg/l	0,24	0,66	2,46	0,88	
Nitritos + nitratos	mg/l	1,25	1,31	2,06	1,31	
Amonio	mg/l	0,56	1,3	5,92	5,67	
SiO ₂	mg/l		0,79	1,52		
Dureza (Mg)	mg/l		3,17			
Dureza (Ca)	mg/l		0,59			
DQO	mg/l		6,12	44,6		

Fuente: Comando Conjunto Antártico.

Los espacios en blanco se deben a que esos parámetros en esas campañas no fueron analizados. Además, puede notarse un gran cambio en la conductividad y en la concentración de nutrientes en la CA del 2001. Esto es producto de un disturbio natural de gran magnitud que ocurrió el 7 de enero 2001, el derretimiento parcial de corazonces de hielo de las morenas que delimitan su cuenca, y la consecuente pérdida brusca de agua por su efluente. En una sola noche, el nivel hidrométrico del lago se redujo en más de 3 metros. Esto provocó el incremento de la concentración de los nutrientes y de algas fitoplanctónicas. Por otro lado, también se han realizado estudios fisicoquímicos al agua una vez almacenada en los distintos establecimientos. Chiarandini, J.P. et al. (2013) observaron que el pH del agua almacenada desciende considerablemente. Esto se debe a distintos procesos químicos y biológicos que ocurren en los tanques de almacenamiento por reacciones que realizan los microorganismos, principalmente los aerobios gracias a los niveles de oxígeno disuelto presente. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del agua almacenada en distintos establecimientos

Parámetro	Unidades	Lago Boeckella	Tanque Casa 4	Tanque Casa 12	Tanque Enfermería	Tanque Casino
Temperatura	°C	0,2-0,8	12-14	12-14	12-14	14-16
pH	unidades de pH	6,20-6,44	4,3-4,5	6,2-6,4	4,3-4,6	4,3-4,5
Oxígeno disuelto	mg/l	10,84-12,20	16,0-16,7	16,2-16,7	16,2-16,7	16,0-16,7
Conductividad	µS/cm	20-38	30-60	10-30	10-30	30-60

Fuente: Chiarandini, J.P. et al. 2013.

Se puede observar que en el Tanque de la Casa 12 no se observa el descenso mencionado, que si se observa en los demás. Esto se debe a que a ese tanque se le realizó una limpieza al comienzo del periodo de hibernación, mientras que a los demás no. Cabe mencionar que según el código alimentario argentino, el agua potable debe tener un pH entre 6,5 y 8,5.

2.2.5. Tratamiento del agua

Hasta el momento la BACE no efectúa ningún método de potabilización del agua. Algunas viviendas poseen un filtro de partículas sedimentarias de hasta 20 micrones para mejorar el aspecto del agua (Díaz, 2022).

2.2.6. Consumos, viviendas y población a servir

Se debe abastecer a las 66 personas permanentes, distribuidas en las 12 viviendas. Para esto, el consumo establecido hoy en día para cada vivienda es de 800 litros por semana. Esto es menos de 25 litros por persona por día. Puede notarse que este número implica un consumo menor al valor de consumo promedio generado por distintos estudios, donde se establece que una persona consume entre 50 y 100 litros por día (Organización Mundial de la Salud, OMS). En Argentina, el consumo medio a nivel nacional real por persona es del orden de los 180 litros por día (Tolcachier, 2004). Esto se debe al gran cuidado que se debe tener con el uso del agua, tanto para su protección y preservación como por la dificultad en su obtención y disposición, lo que lleva a minimizar su uso generando así un menor consumo.

La casa principal, por su parte, consume 6.000 litros por semana. Además, las dependencias por su parte reciben 400 litros por semana. Por su parte, el Establecimiento Educativo Esperanza consume semanalmente 1.200 litros (COCOANTAR, 2023).

Finalmente, se debe tener en cuenta que durante el verano los consumos dependen de la cantidad de personal que se agregue a la BACE para cumplir diferentes actividades programadas.

Se confeccionó la siguiente tabla a modo de resumen con los consumos de cada establecimiento junto a sus capacidades de almacenamiento.

Tabla 4. Consumo de agua potable de cada establecimiento

Establecimiento	Consumo semanal (l/sem)	Capacidad de almacenamiento (l)
Viviendas	800	800
Dependencias	400	800
Casa principal	6000	10000
Establecimiento Educativo Esperanza	1200	6000

Fuente: Comando Conjunto Antártico.

De esta manera se puede observar que cada establecimiento cuenta con un tanque con capacidad suficiente para cubrir la demanda semanal, en caso de estar lleno. Además, aquellos establecimientos que pueden aumentar su consumo debido al arribo de mayor dotación de gente (es decir, todos salvo las viviendas) cuentan con mayor capacidad que la requerida, a fin de poder cubrir esa nueva demanda cuando se requiera.

2.2.7. Distribución

La distribución del agua obtenida y almacenada en las cisternas dentro de las instalaciones de la Usina, se realiza desde la Usina hacia las viviendas y dependencias a través de una red de cañerías internas y sistemas de llaves ubicadas en los sótanos de determinadas dependencias para habilitar el flujo de agua por gravedad. A modo ilustrativo, puede verse en la siguiente imagen un esquema simplificado de la red mencionada.

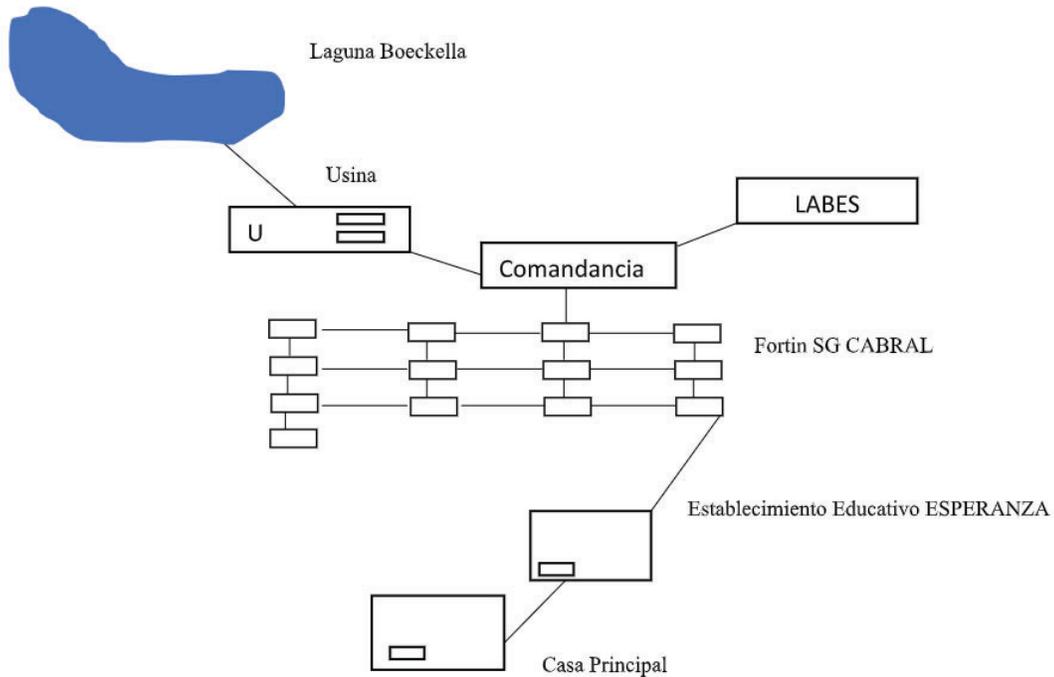


Imagen 5. Sistema de distribución del agua potable desde la usina hacia el resto de los establecimientos

Fuente: Comando Conjunto Antártico

2.2.8. Usos

En cada establecimiento, el agua se utiliza para distintas tareas. Cada una de ellas se realiza con total cuidado y claras indicaciones, a fin de utilizar la menor cantidad posible. Para tener una visión clara del destino del agua, se procede a relevar los distintos usos, junto a las cantidades requeridas para cada actividad.

En primer lugar, donde mayor cantidad de agua se utiliza es en el baño. Se estima que la ducha requiere un 33% del total que se usa en una vivienda, mientras que el inodoro un 22%. Luego, un 22% corresponde al lavamanos (lo que incluye el consumo). Para las tareas de limpieza, se estima un 13%. El 10% restante se destina para otros usos que sean necesarios. De esta manera, podemos diferenciar la cantidad de agua utilizada para cada actividad dentro de cada establecimiento, como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 5. Usos del agua por vivienda y por actividad.

Establecimiento	Consumo semanal	Usos				
		Baño	Inodoro	Lavamanos	Limpieza	Otros

	(l/sem)	%	l/sem								
Viviendas	800	33	264	22	176	22	176	13	104	10	80
Dependencias	400	33	132	22	88	22	88	13	52	10	40
Casa principal	6000	33	1980	22	1320	22	1320	13	780	10	600
Establecimiento Educativo Esperanza	1200	33	396	22	264	22	264	13	156	10	120
Total	8400		2772		1848		1848		1092		840

Fuente: elaboración propia.

Acá cabe destacar que solo el agua de la ducha, de limpieza y del lavamanos tiene que ser agua potable, mientras que el agua para el inodoro podría ser de menor calidad, como por ejemplo agua cloacal tratada. Según estudios, de esta manera se podría reducir hasta un 40% el consumo de agua potable (Aqua España, 2016). Sin embargo, actualmente no se diferencian las corrientes, sino que se utiliza la misma agua potable para todos los usos.

2.2.9. Conclusiones

Habiendo relevado la situación actual del sistema de agua potable en la BACE, se puede concluir que si bien existe un sistema de distribución, almacenamiento y abastecimiento, cuenta con ciertos defectos y aspectos a mejorar. Principalmente, la provisión de agua en el invierno, ya que los caños se congelan y las personas deben buscar formas alternativas de abastecerse de agua en condiciones climáticas adversas. Además, si bien se trata de un lugar prístino y estudios anteriores han arrojado que el agua es potable, debido al aumento de la actividad humana últimamente se han detectado distintos contaminantes, lo que lleva a plantear el diseño de una planta de potabilización de agua. Por último, se concluye que para aportar al cuidado y preservación del agua, incorporar una correcta separación y reutilización de las aguas podría tener un gran impacto en la preservación del agua y del ambiente.

2.3. Efluentes cloacales

2.3.1. Cobertura de servicios sanitarios

En la Justificación del Proyecto se explicó la necesidad de contar con una cobertura de los efluentes cloacales, desde su recolección hasta su tratamiento y disposición. Una descarga directa de los mismos en los cuerpos de agua de la Antártida implicaría una

contaminación que podría alterar los ecosistemas prístinos existentes. En la actualidad, la BACE cuenta con un 100% de cobertura cloacal en sus establecimientos.

De la red cloacal existente no se tiene información detallada, pero luego de entrevistas con personal del Ejército del Comando Antártico Argentino, se supo que la misma funciona de manera apropiada. En este caso, los caños no llegan a congelarse porque los efluentes están siempre a mayor temperatura. Sin embargo, solo una parte de la red cloacal se dirige hacia el edificio principal, donde se encuentra la planta de tratamiento de los efluentes cloacales. Otra parte de la red desemboca directamente al mar, sin recibir tratamiento previo. Esto supone un gran problema, ya que se vierte efluente con contaminantes directamente. Además, aquellos efluentes que si son tratados, también son vertidos hacia el mar. La red existente no contempla el reuso de los efluentes tratados. Esto implica una menor eficiencia y un peor aprovechamiento del agua, por lo que se va a diseñar una red que envíe el 100% de los efluentes cloacales hacia la planta de tratamiento (donde las aguas negras y grises irán por el mismo caño), y a su vez se diseñará una red de redistribución de agua, que irá desde la planta de vuelta hacia las casas y establecimientos para su aprovechamiento en los baños. Esto es de suma importancia dada las características de la ubicación en la cual se diseña el proyecto, donde los recursos son valiosos, escasos y difíciles de acceder.

2.3.2. Caracterización del efluente cloacal

Los parámetros fisicoquímicos resultan de gran interés a la hora de diseñar la planta depuradora. Se han estudiado y caracterizado efluentes cloacales de distintas bases antárticas. En investigaciones realizadas en la BACE, Chiarandini, J.P. et al (2013) estudiaron tanto el líquido cloacal crudo generado como el efluente tratado que se vierte. En ese estudio, para lo que es el efluente crudo lo caracterizaron como un efluente fresco y de color gris característico, olor propio de la materia fecal, debido a la descomposición de algunos productos o residuos alimenticios. Sumado al aspecto, obtuvieron valores de su temperatura, el pH, la conductividad y la salinidad. También detectaron altos valores de turbiedad debido al contenido de materia en suspensión y déficit permanente de oxígeno disuelto generando un estrés aeróbico a los organismos presentes. En otro estudio, Gómez-Fuentes, C et al. estudiaron parámetros indicadores de contaminación importantes del efluente cloacal de la Base Escudero de Chile, como la DBO, el NTK y los SS. Si bien no analizan la DQO, los efluentes cloacales suelen tener una relación de DBO/DQO de 0,44, por lo que se puede estimar el valor de DQO. Como no se cuenta con valores del efluente cloacal de la BACE, se considerará que estos valores son representativos de un

efluente cloacal típico de una Base Antártica, ya que realizan actividades similares. Además, para aquellos valores de interés de los cuales no se cuente con información, se utilizarán los valores típicos de un efluente cloacal según Metcalf & Eddy.

Además de los contaminantes convencionales, se ha estudiado la presencia de contaminantes emergentes, tales como productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP's). Luego de entrevistas con personal del COCOANTAR, se ha llamado la atención sobre el alto consumo de medicamentos en las bases antárticas, debido a las condiciones particulares de vivir en este continente. Esto lleva a considerar importante la determinación de estos contaminantes en las aguas antárticas, de los cuales todavía existe un alto grado de desconocimiento sobre sus eventuales efectos en la biota (Perfetti Bolaño, A. A., 2023). Se demostró que las actividades humanas en la Antártica han resultado en la contaminación por PPCPs de sus suelos, agua de mar y sedimentos costeros. Dado que la mayoría de las estaciones antárticas se localizan en las zonas costeras, sus efluentes tienen una gran influencia sobre el ambiente marino, siendo identificados como la principal fuente de contaminación por PPCP's. En la BACE se detectaron concentraciones significativamente elevadas de Paracetamol, Diclofenac e Ibuprofeno, lo que se atribuyó a la ausencia de un tratamiento (Perfetti Bolaño, A. A., 2023).

Todos estos resultados se muestran a continuación.

Tabla 6. Características del efluente cloacal de una Base Antártica.

Parámetro	Unidad	Efluente crudo
Caudal	m ³ /h	0,24
Temperatura	°C	8,3-8,7
pH	unidades de pH	7,8-8,12
Conductividad	μS/cm	1710-2780
Turbidez	NTU	590-935
Salinidad	%	0,08-0,13
Oxígeno Disuelto	mg/l	3,5-3,8
DBO	mg DBO/l	250
DQO	mg DQO/l	568
NTK	mg NTK/l	60
Grasas y aceites	mg/l	70

Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	230
Coliformes totales	NMP/100 ml	5000
Paracetamol	µg/l	0,19
Diclofenac	µg/l	0,15
Ibuprofeno	µg/l	0,10

Fuente: Recopilación de Chiarandini, J.P. et al. (2013), Gómez-Fuentes, C et al., Perfetti Bolaño, A. A., 2023, y Metcalf & Eddy.

2.3.3. Tratamiento de los efluentes

Actualmente, la BACE cuenta con una planta en el edificio principal donde se tratan todos los efluentes líquidos generados. La misma se controla por un tablero ubicado ahí mismo. En primera instancia, los líquidos crudos llegan a un tanque de bombeo y compensación de caudales, previo paso por un tamiz rotativo existente donde quedan retenidos los sólidos gruesos. En el tanque hay dos bombas sumergibles. Una vez que haya nivel suficiente, la bomba que esté seleccionada desde el tablero se activa y transporta el efluente a la cámara de aireación del tanque de aireación y decantación, a caudal lo más constante posible. El caudal ideal de operación es de 500 litros/hora. Puede ocurrir que el caudal de elevación de las bombas resulte excesivo. En cuyo caso, la persona encargada del mantenimiento debe poner una restricción en la cañería de impulsión o reducir el caño a un diámetro menor.

Junto a la bomba entra en servicio un clorador. El líquido mezclado en la cámara de aireación pasa por gravedad al sedimentador secundario. En el sedimentador secundario se generan dos corrientes. Por un lado, se generan lodos activos que se reciclan a la cámara de aireación con la ayuda de compresores que inyectan aire comprimido. Luego, la otra corriente es la de los líquidos ya clarificados, que pasan al tanque de almacenamiento para su disposición final.

Los compresores trabajan independientemente de las bombas, de acuerdo con el programa de funcionamiento preestablecido en el reloj del tablero de control. Se selecciona en forma manual el compresor en servicio, quedando el otro en espera. Cada compresor posee un contador de horas de funcionamiento en el frente del tablero con el fin de hacerlos funcionar en forma pareja.

Los líquidos clarificados, que se recogen en la parte superior del sedimentador, pasan a la cámara de cloración donde permanecerán veinte (20) minutos como mínimo a caudal medio.

En cuanto a la operación, el funcionamiento del equipamiento es automático, ya que temporizadores actúan con intervalos de tiempo preestablecidos sobre las bombas compresoras de aire, mientras que el nivel del tanque de bombeo es manejado por dos controladores de nivel que actúan sobre las bombas sumergibles que tienen la función de enviar el líquido crudo al tanque de aireación y sedimentación.

Este diseño de planta en estas condiciones tan particulares (considerando cuestiones tanto climáticas como logísticas) conlleva algunas desventajas. En primer lugar, se han realizado diagnósticos preliminares donde se evidenció que estos sistemas tienen problemas tanto en la formación del barro activado como en la decantación secundaria, que es necesaria para la clarificación final y posterior desinfección del efluente (Gómez-Fuentes, C et al. 2013), lo que imposibilita su reuso. A su vez, el uso de cloro hace que puedan quedar residuos en el efluente tratado. Y otro problema es el tiempo de respuesta frente a aumentos repentinos de población, evento que sucede en época de verano.

2.3.4. Vuelco final

Una vez tratados, los efluentes son vertidos al efluente chorrillo Prasiola para luego desembocar en el mar. Esto no se considera óptimo ya que se están introduciendo efluentes que si bien son tratados, podrían contener contaminantes emergentes e incluso contaminantes convencionales que no lleguen a ser tratados eficientemente y alteren el ecosistema de la Antártida. Chiarandini, J.P. et al. analizaron la descarga, para identificar los cambios en el agua antes y después del vertido del efluente tratado. Ahí observaron que la turbiedad aumentó después de la descarga. De esta manera, se puede notar que el efluente, si bien está tratado, cuenta con alta carga de material en suspensión. Igualmente, observaron que este efecto se diluye con el tiempo, efecto característico de un vertido al mar. Esto se ve en la siguiente Tabla.

Tabla 7. Cambios en el agua por el vertido del efluente.

Parámetro	Unidad	Descarga (antes del vertido)	Descarga (después del vertido)
Temperatura	°C	1,4-3,8	1,5-3,9
pH	unidades de pH	7,95-8,04	7,44-8,04

Conductividad	mS/cm	54,4-54,7	47,3-50,2
Oxígeno Disuelto	mg/l	15,2-15,9	12,34-15,2
Turbidez	NTU	0	61-100
Salinidad	%	3,34-3,35	2,93-3,34

Fuente: Chiarandini, J.P. et al. 2013.

2.3.5. Conclusiones

Luego de relevar la situación actual en cuanto a los efluentes cloacales, se concluye que es necesario repensar el diseño tanto de la red como de la planta. En primer lugar, para reutilizar el efluente tratado y así aprovechar el efluente en vez de considerarlo como un residuo, minimizando el consumo de agua potable y los residuos líquidos producidos. También se considerará el uso de otro sistema de planta de tratamiento, como el de plantas modulares, al tener ventajas sobre el tipo de planta utilizado para condiciones como las descritas. Además, se evidencia la necesidad de una unidad de tratamiento de los contaminantes emergentes.

2.4. Residuos

2.4.1. Clasificación de residuos

El primer paso en la gestión de los residuos en cada instalación antártica es la clasificación de los mismos en distintos grupos según su naturaleza. El Protocolo de Madrid establece una clasificación orientativa, la cual ha sido adaptada por el Programa Antártico Argentino para satisfacer adecuadamente sus necesidades. La clasificación argentina se basa en la capacidad de biodegradación del residuo, la peligrosidad y los métodos posibles de disposición final a ser empleados. Esta clasificación establece entonces cinco grupos, respetando, en líneas generales, lo establecido en el Protocolo (PGA, 2002):

- **Grupo I. Residuos biodegradables (sólidos):** A este grupo pertenecen los desechos biodegradables, como ser restos de alimentos, papeles, maderas y trapos limpios.
- **Grupo II. Residuos no biodegradables (sólidos):** Está compuesto por aquellos elementos de muy lenta o nula degradación natural -desechos no biodegradables-, como ser los plásticos, (incluyendo PVC, poliestireno, poliuretano, y gomas) polietileno, caucho, cables ferrosos, fibras sintéticas, cenizas de la incineración de residuos del Grupo I, víveres vencidos, envases metalizados, etc.
- **Grupo III. Residuos peligrosos (sólidos y líquidos):** Incluye los desechos peligrosos, líquidos, sólidos y gaseosos establecidos en la Ley 24.051 de Residuos

Peligrosos la cual establece una clasificación de 46 categorías “Y”. El listado completo de la clasificación de residuos peligrosos según lo establecido por la Ley de Residuos Peligrosos se encuentra en el Anexo I. Además, entre los residuos peligrosos sólidos, están contenidos todos los elementos que estén impregnados con residuos peligrosos líquidos (trapos, estopa, papeles, latas, pinceles, maderas tratadas, filtros de aceite)

- **Grupo IV. Residuos inertes (sólidos):** Pertencen a esta categoría los desechos sólidos inorgánicos, considerados genéricamente como “inertes”, en el sentido que su degradación no aporta elementos perjudiciales al medio ambiente, aunque su dispersión degrada el valor estético del mismo y puede ocasionar accidentes al personal. Forman parte de este grupo los vidrios, chapas, restos de estructuras metálicas, tambores (limpios), alambres, restos de concreto u hormigón, ladrillos, zunchos de embalaje, etc.
- **Grupo V. Residuos Biodegradables líquidos (Aguas residuales y residuos líquidos domésticos):** Aquí se consideran a las aguas residuales y los residuos líquidos domésticos provenientes de cocinas, baños, lavabos, etc. No incluye los residuos líquidos que puedan estar mezclados con residuos líquidos peligrosos, por ejemplo, agua mezclada con restos de aceite, proveniente de los talleres.

2.4.2. Caracterización de residuos

Se obtuvo información acerca de la cantidad de residuos generados por la BACE, gracias a datos brindados por el COCANTAR. Según este informe del 2023, la Base Esperanza generó un total de 43,2 m³ de residuos, equivalentes a 15730 kg, dispuestos en 216 tambores. Se sabe que del grupo 3 se dispusieron 12 m³, con un peso de 5470 kg y dispuestos en 60 tambores. Sin embargo, de los demás grupos no se tiene información. Para el diseño de la gestión de residuos del presente proyecto, se va a estimar la cantidad de residuos generados de cada grupo teniendo en cuenta las actividades realizadas.

Según estudios, se ha detectado en distintas bases Antárticas contaminación con metales como Cd, Pb, As, Cu y Zn. Esto se ha relacionado, entre otras razones, a la disposición de residuos (Espejo et al. 2010), lo que lleva a pensar que hay una mala disposición y/o almacenamiento de los mismos.

2.4.3. Gestión actual de residuos

Las etapas de la actual gestión de residuos son las siguientes:

- Planificación
- Clasificación
- Disposición inicial
- Almacenamiento
- Transporte
- Disposición final
- Supervisión
- Registro y remisión de información

En la planificación se decide el material necesario para la gestión de los residuos, desde los tambores hasta lo que sea necesario para su almacenamiento y transporte. Luego, la disposición inicial se realiza en los distintos tambores que cuentan con colores para su identificación, donde son almacenados hasta su transporte. Los residuos son evacuados hasta el Puerto de Ushuaia, donde luego una empresa se hace cargo de los mismos para su tratamiento.

2.4.4. Metas

Cada base en la Antártida debe garantizar el cumplimiento de cada uno de los principios establecidos en los Anexos III y IV del Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid) y de la legislación nacional vigente. Principalmente, se debe minimizar el impacto que los desechos de las actividades humanas puedan generar en el medio ambiente antártico. Para esto, se debe comprender la necesidad de cada etapa.

En cuanto a la planificación, en primer lugar se deben gestionar las actividades a fin de garantizar la menor producción de residuos posible. Luego, asegurar la suficiente provisión de elementos y la infraestructura edilicia y/o de medios de transporte necesarios para el manejo de los residuos en Bases, campamentos y buques. Además, verificar que no se ingresen productos prohibidos al continente antártico.

Para la disposición, generar una buena clasificación para facilitar la gestión de residuos en las tareas posteriores. Una vez dispuesto, almacenar considerando facilitar tareas de evacuación de residuos y asegurando óptimas condiciones sanitarias y ambientales, como por ejemplo evitar posibles dispersiones de residuos. Luego, para el tratamiento procurar minimizar volúmenes a disponer y/o trasladar, así como asegurar óptimas condiciones sanitarias y ambientales. Finalmente, en el traslado se debe minimizar

la contaminación ambiental del continente antártico. Esto es necesario realizarlo bajo supervisión, a cargo de una persona que verifique la correcta implementación del Plan de Gestión de residuos.

2.4.5. Conclusiones

Después de haber relevado la situación actual, para el diseño de la gestión de residuos será necesario calcular la producción de residuos de cada categoría. Además, se establecerán procedimientos y elementos para garantizar que los recipientes en los que se almacenan los residuos estén perfectamente cerrados para evitar pérdidas y emanaciones durante su traslado. Este punto, como se ha visto, es de particular importancia para el caso de los residuos peligrosos. A su vez, se definirá la ubicación con superficie suficiente como para almacenar y manipular los recipientes hasta su evacuación. Esto implica la adecuación de un local cerrado y con piso impermeable.

3. Marco Legal del Proyecto

Este Proyecto se sitúa en territorio argentino ubicado en la Antártida, y trata sobre agua potable, efluentes cloacales y gestión de residuos. Considerando estos aspectos, a continuación se detalla el marco normativo que aplica y regula las condiciones para todo el diseño.

3.1. El Protocolo de Madrid

El Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, también llamado Protocolo de Madrid, procura una amplia protección del medio ambiente de la Antártida, y es parte del Sistema del Tratado Antártico. Al tratarse de un continente tan particular como lo es la Antártida, que tiene territorio perteneciente a distintos países, el Tratado Antártico resulta ser de los marcos normativos más importantes a tener en cuenta. El Tratado fue suscripto en diciembre de 1959 por doce países, su entrada en vigencia operó en 1961 suspendiendo por 40 años las controversias sobre reclamos de soberanía en el continente. Consta de una breve introducción y de 14 artículos. El Protocolo de Madrid se establece para complementar y reforzar el Tratado Antártico a fin de incrementar la protección del medio ambiente antártico y de los ecosistemas dependientes y asociados. Los Artículos principales a tener en cuenta son los siguientes:

- **Artículo 2:** las Partes se comprometen a la protección global del medio ambiente antártico y los ecosistemas dependientes y asociados y designan a la Antártica como una “reserva natural, consagrada a la paz y a la ciencia”.
- **Artículo 3:** contiene los principios medioambientales sobre los cuales se apoya el Protocolo. Dichos principios enuncian la necesidad de proteger los valores naturales y científicos de la Antártida, haciendo particular hincapié en la obligatoriedad de realizar una planificación cuidadosa de las actividades antárticas, de modo de evitar o atenuar los impactos perjudiciales sobre el medio ambiente que aquellas pudiesen originar.
- **Artículo 8:** establece que, antes de llevar adelante una actividad en la Antártida, se debe realizar una evaluación del impacto de la actividad propuesta sobre el medio ambiente antártico o en los ecosistemas dependientes o asociados.
- **Artículos 11 y 12:** crean el Comité para la Protección del Medio Ambiente y establecen sus funciones, que consisten en proporcionar asesoramiento y formular recomendaciones a las Partes en relación con la aplicación del Protocolo.
- **Artículo 14:** incorpora la necesidad de realizar inspecciones (de conformidad con el Artículo VII del Tratado Antártico) para promover la protección del medio ambiente antártico y de sus ecosistemas dependientes y asociados, y para asegurar el cumplimiento del Protocolo.
- **Artículo 15:** se refiere a las acciones de respuesta en casos de emergencia medioambiental que puedan surgir de la realización de programas de investigación científica, del turismo y de todas las demás actividades gubernamentales y no gubernamentales.

Además, se tendrán en cuenta los siguientes Anexos:

- **Anexo III. Eliminación y Tratamiento de residuos:** en este anexo se define que la gestión de los residuos antárticos comprende la planificación, clasificación, tratamiento, almacenamiento, transporte, y disposición final de todos los desechos generados. Además, se prohíbe rellenar terrenos con residuos, depositarlos en áreas libres de hielo o en sistemas de agua dulce y quemarlos al aire libre. También se establece como prioridad la reducción de la producción de residuos, por lo que antes de iniciar cualquier actividad debe priorizarse la alternativa que minimice el volumen de desechos a generar. Una vez producidos, el Protocolo contempla tres métodos para la disposición final de residuos en la Antártida:
 - **Evacuación del Área del Tratado Antártico:** la prioridad uno establece que los desechos antárticos sean evacuados del territorio antártico en todos los casos en que sea posible. Previamente, los residuos deben acumularse

convenientemente en sectores donde no puedan dispersarse por la acción del viento, ni puedan quedar al alcance de las aves.

- **Incineración controlada:** esta opción sólo puede llevarse a cabo en aquellas instalaciones que dispongan de equipamiento adecuado (incineradores de combustión controlada), y sólo podrán incinerarse los residuos biodegradables. Las cenizas producidas durante el proceso se acumularán para ser luego removidas del Área del Tratado Antártico.
- **Eliminación al mar:** solo se permite la eliminación al mar de aguas residuales y residuos líquidos domésticos, y exclusivamente en áreas donde existan condiciones para su dilución inicial y su rápida dispersión (es decir, en corrientes que se dirigen mar adentro). Cuando las bases alberguen a más de 30 personas, el Protocolo requiere que tales residuos sean previamente tratados, al menos por maceración, para reducir el tamaño de partícula a verter y así, favorecer su rápida dispersión en el agua.
- **Anexo IV. Prevención de la Contaminación Marina:** Este Anexo establece prohibiciones y restricciones al vertido de residuos desde barcos. Este Anexo se encuadra en lo establecido por la Convención para prevenir la Contaminación Marina desde barcos, en donde se le asignó estatus de Zona Especial a las aguas antárticas. Esto implica que deben observarse mayores restricciones que en otras aguas internacionales.
- **Anexo VI. Responsabilidad emanada de Emergencias Ambientales:** obliga a los países a elaborar e implementar planes de contingencia para dar respuesta a incidentes que pudiesen tener impactos adversos en el medio ambiente antártico, y a realizar acciones de respuesta rápidas y efectivas ante emergencias ambientales emanadas de sus actividades.

3.2. Normativas

3.2.1. Código Alimentario Argentino

Las características con las que debe cumplir el agua para ser considerada potable se tomarán del Código Alimentario Argentino. En este, se definen los siguientes valores que serán tenidos en cuenta para el diseño de la planta.

Tabla 8. Valores permitidos para agua potable

Parámetro	Unidades	Límites para agua potable
-----------	----------	---------------------------

pH	unidades de pH	6,5-8,5
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	< 1500
Amonio	mg/l	< 0,2
Dureza (Ca)	mg/l	< 400
Cloro residual	mg/l	> 0,2
Coliformes	NMP/100 ml	< 3
Turbidez	NTU	< 3

Fuente: Código Alimentario Argentino.

3.2.2. Ley Provincial N°55 de Tierra del Fuego

La Ley Provincial N°55 de Tierra del Fuego, ley de Medio Ambiente, define en su Artículo 1° como objetivo la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del medio ambiente de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. En esta se establecen medidas a fin de asegurar la conservación de la calidad ambiental, la diversidad biológica y sus recursos escénicos. Entre sus puntos principales, se incluyen medidas para la preservación de áreas naturales, la regulación de actividades económicas que puedan afectar el entorno, la promoción de prácticas sustentables y la creación de instrumentos para el manejo adecuado de los recursos naturales. Además, se define a aquellos proyectos en los cuales es necesario realizar un estudio de impacto ambiental.

3.2.2.1. Decreto N°1333/93 Reglamentario

Los parámetros de vuelco se encuentran definidos en el Decreto N°1333/93 Reglamentario de la Ley Provincial N°55 de Tierra del Fuego. Se elige normativa de Tierra del Fuego debido a que esta provincia comprende el sector argentino de la isla Grande de Tierra del Fuego, la isla de los Estados, y los territorios en disputa de las islas Malvinas, Antártida Argentina, e islas del Atlántico Sur. Los valores con los que se deberá cumplir son los siguientes.

Tabla 9. Parámetros de calidad de la descarga límite permisible

Parámetro	Unidad	Curso de agua
Temperatura	°C	< 45
pH	unidades de pH	6,5-10
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 2000
DBO5	mg/l	< 50

DQO	mg/l	< 250
Grasas y aceites	mg/l	< 50
NTK	mg NTK/l	≤ 35
Sólidos Sedimentable 10'	ml/l	Ausente
Sólidos Sedimentable 2hs	ml/l	< 1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	≤ 35

Fuente: Decreto N°1333/93 Reglamentario de la Ley Provincial N°55 de Tierra del Fuego

3.2.3. Directiva Marco del Agua de la Unión Europea

Para los contaminantes emergentes, puesto que estos aún no están regulados en territorio argentino, se utilizará como referencia la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea. En la Decisión de la Comisión Europea 2015/495/EU se establece como límite permitido de vuelco a aguas superficiales para el diclofenac y el ibuprofeno un valor de 0,1 µg/l. Si bien para el paracetamol no se encontró ningún límite establecido, se utilizará el mismo valor de referencia.

3.2.4. Ley N° 1126 - Ley de aguas

La presente ley establece en su Artículo 1° como objetivo definir medidas y regulaciones acerca de las obras hidráulicas en virtud de la preservación, defensa y el uso eficiente y beneficioso del recurso hídrico. A su vez, establece que todo proyecto de obra hidráulica debe ir acompañado de un estudio de impacto ambiental que describa y evalúe las distintas alternativas que se ofrecen a la obra, su impacto positivo o negativo sobre el ambiente y su costo económico, y que describa la alternativa elegida así como los posibles efectos en el ambiente junto a medidas de mitigación para aquellos efectos negativos.

3.2.5. Ley 24.051 de Residuos Peligrosos

La Ley 24.051 de Residuos Peligrosos establece las bases para la denominación y el manejo de los residuos peligrosos. En la presente Ley, se define como residuo peligroso a todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general. Además, genera un listado de categorías con la clasificación de distintas corrientes de residuos peligrosos, que se puede ver en el Anexo I.

4. Descripción y Análisis de Alternativas

En el presente capítulo se describen los procesos, las unidades y los materiales presentes necesarios para el diseño del proyecto, junto a su función y sus características. A partir de este detalle, se elegirá entre las alternativas presentadas aquella que resulte ser la opción más favorable. Para decidir, se tendrán en cuenta las características de la fuente de agua potable, del efluente cloacal y de los residuos generados, las condiciones particulares de la zona y las regulaciones que aplican en cuanto a los límites permitidos para agua potable y vuelco cloacal, y las regulaciones en materia de gestión de los residuos.

Planta potabilizadora

Para el diseño de la planta potabilizadora se considera que debido a las características de la fuente de agua, no es necesario realizar ningún tipo de pretratamiento. Entonces, tendrá en primer lugar un tratamiento primario, a fin de separar los compuestos suspendidos y disueltos del agua. Para lograr esto, se diseñarán equipos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Finalmente, se hará una desinfección mediante el uso de cloro o luz UV para eliminar organismos patógenos presentes en el agua que no hayan sido eliminados totalmente en los procesos anteriores.

Planta depuradora

La planta depuradora se encargará del tratamiento de las aguas negras y grises de la BACE, las cuales llegarán unificadas por la red cloacal. La depuración de los efluentes cloacales comenzará con un pretratamiento a fin de acondicionar el efluente para ser tratado, eliminando contaminantes tales como los sólidos grandes, aceites y grasas. Esto se hará mediante el uso de un sistema de rejillas, un desengrasador y un equalizador, cuyo objetivo es homogeneizar el efluente. Luego se sigue a un tratamiento secundario, donde microorganismos eliminan materia orgánica disuelta y nutrientes. Para lograr esto, se analizarán dos alternativas. En primer lugar, utilizar un sistema de lodos activos, que consiste en un tanque al cual se le inyecta aire para que los microorganismos aeróbicos puedan respirar y subsistir, y depurar el efluente, y a continuación un sedimentador secundario para la decantación y separación de los sólidos biológicos del agua tratada, por recirculación y por eliminación (purga). La otra opción será efectuarlo con el diseño de un reactor secuencial batch, el cual consiste en un tanque donde suceden en forma secuencial en el tiempo los procesos de equalización, aireación y clarificación. A continuación del tratamiento secundario se incorporará una etapa para eliminar contaminantes emergentes que pueden ser remedios tales como el ibuprofeno, diclofenac y paracetamol. Para esto se

contemplan dos opciones. Una será con el uso de procesos de oxidación avanzada, en donde se busca la degradación de contaminantes orgánicos a productos menos complejos, menos perjudiciales y/o más fáciles de eliminar basándose en el poder oxidante y reductor de los compuestos. Se puede realizar utilizando como agente la luz UV. Finalmente, la segunda opción será utilizar carbón activado, que actúa como una superficie adsorbente para la eliminación de los contaminantes. Por último se debe desinfectar el efluente, en orden de eliminar microorganismos patógenos. Para esto se evaluará realizarlo con una cámara de cloración, utilizando hipoclorito de sodio o con un sistema de luz UV. Finalmente, parte del efluente será reutilizado para abastecer a los baños de las casas y los establecimientos, mientras que el resto será conducido hacia el sitio de vuelco final.

Gestión de residuos

Los residuos serán almacenados en tambores especiales diseñados para las condiciones extremas de la Antártida, considerando las necesidades y requerimientos para el almacenamiento y traslado. La disposición final se hará en territorio argentino que no sea Antártico. De esta manera, se evaluará su traslado hacia el relleno sanitario de Ushuaia o hacia el CEAMSE.

4.1. Galpón calefaccionado

Las características climáticas de la zona hacen que sea fundamental la instalación de las plantas dentro de un ambiente preparado para contrarrestar las condiciones ambientales extremas. Por este motivo, se diseñarán dos galpones calefaccionados, uno para cada planta. Estos tendrán un sistema de calefacción por suelo radiante, con una configuración de tuberías en espiral. Si bien existen otros sistemas, como de doble serpentín o circuitos con zonas frías, la configuración elegida es la de más simple instalación, y más efectiva para zonas que requieren una calefacción uniforme. La construcción implica en primer lugar una capa de arena, una capa de protección de poliestireno expandido, luego una capa aislante de polietileno más otra capa de protección de poliestireno expandido, y finalmente una capa de hormigón, en donde irán las tuberías. Este diseño puede verse esquematizado en la siguiente imagen.

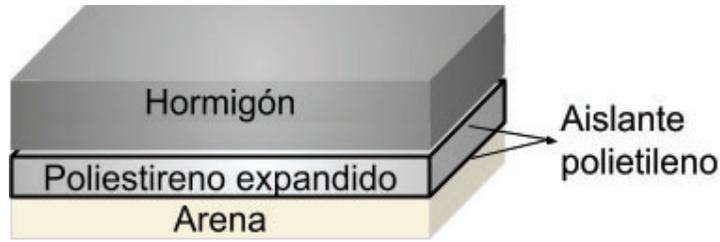


Imagen 6. Capas del suelo del galpón calefaccionado

Fuente: Elaboración propia

Además, se contemplará la utilización de materiales aislantes en las paredes, puertas y ventanas. Para la ubicación de cada galpón, se tuvieron en cuenta las distancias hacia los puntos de interés (laguna y establecimientos para la planta potabilizadora, y establecimientos y lugar de vertido para la planta depuradora), las cotas de nivel y la disponibilidad de terreno. Observando el mapa de la BACE, se decidió ubicar al galpón para la planta potabilizadora entre el lago y las viviendas, ya que se considera que es un punto estratégico para estar lo más cerca del lago posible, que es de donde se obtiene el agua potable, y lo más cerca posible de las casas, y hay terreno a disposición. Además, de esta manera el galpón estará ubicado a menor altura que el lago, y a mayor altura que las casas, teniendo pendiente a favor en todos los tramos. Para la planta depuradora, se determinó que la mejor opción es situar el galpón entre el nuevo helipuerto y las viviendas, ya que de esta manera se encuentra en un punto más bajo que los establecimientos, permitiendo que el efluente llegue a la planta por gravedad, hay disponibilidad de terreno y está cercano al punto de vuelco final. Esto se muestra a continuación.



Imagen 7. Ubicación de los galpones calefaccionados.

En azul para la planta potabilizadora, y en amarillo para la planta depuradora

Fuente: Elaboración propia

4.2. Pretratamiento (PTEC)

El pretratamiento de efluentes es el primer paso en el sistema de depuración de aguas cloacales. Consiste en la adecuación del efluente para que pueda ser tratado de forma eficiente. Generalmente, se compone de uno o más procesos físicos que retienen sólidos gruesos o finos. Además, se realiza para homogeneizar la temperatura, el pH, el caudal y la carga orgánica, para así prevenir posibles shocks de contaminación que puedan afectar al tratamiento. Esto facilita y mejora la eficiencia de los procesos de tratamiento subsiguientes, como el tratamiento biológico en un sistema de lodos activos o un reactor biológico. Sin embargo, el pretratamiento no elimina completamente los contaminantes disueltos ni los microorganismos patógenos presentes en el agua residual, por lo que se requieren etapas adicionales de tratamiento para lograr una calidad de agua adecuada para su descarga al medio ambiente. Cabe recordar que para la planta potabilizadora no se contará con ningún pretratamiento, al no considerarlo necesario.

4.2.1. Desbaste

Para comenzar con el tratamiento de la planta depuradora, se diseñará un sistema de rejas de desbaste, cuya función será eliminar los sólidos gruesos que pueda tener el efluente. Las rejas consisten en estructuras metálicas o de otro material resistente que se colocan al principio del proceso de tratamiento para remover sólidos gruesos y materiales grandes que podrían obstruir o dañar equipos más adelante en el proceso de depuración.

Estas rejas suelen estar compuestas por barras paralelas o paneles con espacios entre ellos que permiten el paso del agua pero retienen objetos grandes como palos, plásticos, trapos, y otros desechos sólidos. Existen diferentes tipos de rejas de desbaste, como las rejas fijas, las automáticas, y las manuales, que varían en su método de limpieza y funcionamiento. Para su diseño, se debe tener en cuenta el nivel de remoción de sólidos necesario, la operación y mantenimiento y el manejo de los residuos generados (los sólidos retenidos). Por las características del efluente, se utilizarán rejas finas y automáticas.

Otra opción a considerar será el uso de una canasta en caso de que el caudal sea muy bajo. La canasta es un contenedor perforado o una cesta con aberturas que permiten

el paso del agua pero retienen los sólidos más grandes. Estas tienen las ventajas de que tienden a obstruirse menos y pueden ser más fáciles de limpiar que las rejillas, por ende implican un menor mantenimiento, tienen una mayor flexibilidad y un menor costo inicial. Esto podría ubicarse en el tanque de bombeo ya existente en la BACE.

4.2.2. Desengrasador

Un desengrasador es un dispositivo diseñado para eliminar grasas, aceites y sólidos flotantes del agua residual que de ingresar a procesos posteriores de la planta podrían obstruir tuberías o equipos. Al eliminar estos contaminantes, se mejora la eficiencia y la efectividad de los procesos de tratamiento subsiguientes, como la sedimentación, la filtración y la desinfección. Su función se lleva a cabo en un tanque o unidad diseñada específicamente para permitir que los sólidos y las grasas floten en la superficie del agua residual mientras que el efluente se descarga por la parte inferior. Esto permite separar físicamente los contaminantes grasos del agua. Es de importancia de incorporar en la planta depuradora ya que el efluente cloacal, al tener residuos líquidos domésticos, contará con presencia de estos contaminantes debido a las tareas de cocina, baño, lavado, etc (como se ha descrito previamente).

El diseño depende de varios factores, incluyendo el flujo de agua residual, la concentración de grasas y sólidos suspendidos, y las limitaciones de espacio y presupuesto. Sin embargo, hay algunos principios generales a considerar:

- **Dimensiones del tanque:** El desengrasador debe tener dimensiones adecuadas para permitir una adecuada separación de las grasas y los sólidos flotantes. Esto implica un tiempo de retención suficiente para que las partículas floten y se separen del agua.
- **Diseño del flujo:** El diseño del flujo dentro del desengrasador es crucial para garantizar una separación efectiva. Se pueden utilizar deflectores, placas inclinadas o sistemas de entrada y salida para dirigir el flujo de manera que facilite la separación de las grasas.
- **Remoción de lodos y grasas:** se deben eliminar periódicamente las grasas y los sólidos acumulados.
- **Mantenimiento y limpieza:** Se deben considerar características que faciliten el mantenimiento y la limpieza del desengrasador para garantizar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.

A continuación se muestra un esquema de una cámara desengrasadora a modo de ejemplificación.

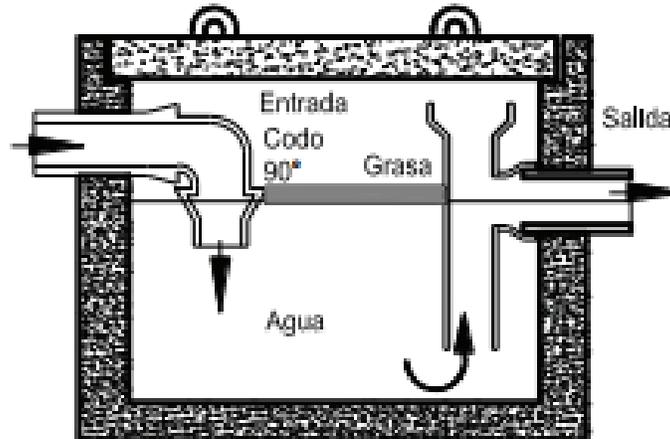


Imagen 8. Esquema de una cámara desengrasadora.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia.

4.2.3. Ecuilizador

Un ecualizador es un equipo utilizado para balancear y distribuir uniformemente el flujo de aguas residuales a lo largo del proceso de tratamiento. El propósito principal de un ecualizador es evitar fluctuaciones bruscas en el flujo de agua que ingresan a las etapas de tratamiento posteriores, como por ejemplo variaciones en la temperatura, el pH y la carga orgánica (DBO y DQO). Estas fluctuaciones pueden causar problemas operativos, como sobrecargas hidráulicas, estrés en los equipos y procesos de tratamiento, y disminución en la eficiencia del tratamiento.

Un ecualizador funciona almacenando temporalmente el exceso de agua durante los períodos de flujo alto y liberándolo gradualmente durante los períodos de flujo bajo. Esto ayuda a suavizar las variaciones en el flujo de agua y a mantener un flujo más constante a lo largo de la planta de tratamiento.

Los ecualizadores pueden tener diferentes diseños y capacidades según las necesidades específicas de la planta de tratamiento y las características del flujo de agua. Algunos ecualizadores son tanques de almacenamiento que retienen temporalmente el agua, mientras que otros pueden ser dispositivos mecánicos que regulan el flujo de entrada y salida de agua. Se denominan de nivel constante o de nivel variable. Por las características y condiciones requeridas en este proyecto, se utilizará un ecualizador de

nivel variable, a fin de controlar y tener un caudal constante, en especial por las fluctuaciones que puede tener a la entrada. De esta manera, será necesario contar con bombas sumergibles con sensores de nivel para que el efluente pase a la siguiente unidad de tratamiento.

4.3. Tratamiento Primario (PTAP)

El tratamiento primario es la primera etapa del proceso de potabilización de aguas, donde ocurren procesos físicos y químicos. Su objetivo principal es eliminar los sólidos suspendidos y una parte de los sólidos sedimentables presentes en las aguas. Además, ayuda a reducir la carga de sólidos suspendidos y partículas coloidales en el agua cruda, lo que facilita los procesos de tratamiento subsiguientes, como la filtración y la desinfección, para producir agua potable segura y de alta calidad. Cabe recordar que para la planta depuradora no se contará con ningún tratamiento primario, al no considerarlo necesario.

4.3.1. Coagulación-Floculación

La coagulación-floculación es un proceso físico-químico utilizado en el tratamiento del agua para eliminar partículas finas, coloides y materia orgánica suspendida. El proceso comienza con la adición de coagulantes químicos, como sulfato de aluminio o cloruro férrico, al agua cruda. El agua cruda ingresa al tanque de coagulación y se dosifica el coagulante químico en una proporción específica. Esto se hace generalmente mediante sistemas de dosificación automática controlados por sensores que monitorean la turbidez o la concentración de partículas en el agua. Estos coagulantes ayudan a agrupar las partículas finas en suspensiones más grandes mediante la neutralización de las cargas eléctricas repulsivas entre las partículas. Después de la adición de coagulante, el agua se somete a un proceso de mezcla rápida para garantizar una distribución uniforme del coagulante y una mezcla efectiva con las partículas suspendidas (Metcalf, 2002).

Los mezcladores o agitadores están ubicados dentro del tanque y se utilizan para agitar el agua cruda y el coagulante, asegurando una mezcla rápida y uniforme. Estos mezcladores pueden ser de diferentes tipos, como mezcladores de paletas, propelas o agitadores de flujo axial.

El tanque de coagulación está diseñado para proporcionar un tiempo de retención adecuado, que es el tiempo que el agua cruda y los coagulantes pasan dentro del tanque. Este tiempo permite que ocurra la neutralización de partículas y la formación de flóculos.

Luego, el agua se mezcla en un tanque de floculación, donde se agrega un agente floculante, como polímeros, que ayuda a que las partículas coaguladas se unan y formen flóculos más grandes y pesados, facilitando su sedimentación.

Para garantizar un funcionamiento eficiente de un tanque de coagulación en una planta potabilizadora, es importante monitorear y controlar varios parámetros clave. Estos parámetros ayudan a optimizar el proceso de coagulación y asegurar una calidad adecuada del agua tratada. Aquí están algunos de los parámetros más importantes (Metcalf, 2002):

- **Dosificación de coagulante:** La cantidad de coagulante químico dosificado en el agua cruda es un parámetro crítico. Debe ser controlada cuidadosamente para garantizar que se agregue la cantidad correcta de coagulante para neutralizar las partículas suspendidas y formar flóculos efectivamente.
- **Tasa de mezcla:** La velocidad a la que se mezcla el agua cruda y el coagulante dentro del tanque de coagulación es esencial para asegurar una distribución uniforme del coagulante y una mezcla adecuada con las partículas en suspensión. Una tasa de mezcla demasiado alta puede romper los flóculos formados, mientras que una tasa de mezcla demasiado baja puede resultar en una mezcla inadecuada.
- **Tiempo de retención:** El tiempo que el agua cruda y el coagulante pasan dentro del tanque de coagulación, conocido como tiempo de retención, es un parámetro importante. Este tiempo debe ser suficiente para permitir que ocurran los procesos de neutralización de partículas y formación de flóculos de manera efectiva.
- **Concentración de coagulante:** Además de la cantidad de coagulante dosificada, la concentración de coagulante en el agua cruda también es importante. Una concentración demasiado alta puede resultar en la formación de flóculos pequeños y una sedimentación inadecuada, mientras que una concentración demasiado baja puede no ser suficiente para neutralizar las partículas.
- **Características del agua cruda:** Las características del agua cruda, como la turbidez, el pH, la alcalinidad y la dureza, pueden afectar significativamente el proceso de coagulación. Es importante monitorear estas características y ajustar el proceso de coagulación en consecuencia para lograr los resultados deseados.
- **Eficiencia de mezcla:** La eficiencia de la mezcla dentro del tanque de coagulación es crucial para asegurar una distribución uniforme del

coagulante y una mezcla adecuada con las partículas en suspensión. Esto puede ser evaluado mediante pruebas de agitación y pruebas de mezcla en el laboratorio.

4.3.2. Sedimentador primario

El agua residual proveniente del tanque de floculación ingresa al tanque de sedimentación, donde se ralentiza el flujo y se permite que los sólidos más pesados (los flóculos formados en el tanque previo) se depositen en el fondo del tanque, formando un lodo primario, mientras que los sólidos más livianos flotan en la superficie, formando una capa de escoria. Estas capas de sólidos se eliminan periódicamente para su posterior tratamiento y disposición.

Para diseñar y dimensionar adecuadamente un sedimentador en una planta de tratamiento de aguas cloacales o potabilizadora, es crucial considerar una serie de factores importantes que afectan su rendimiento y eficiencia, como por ejemplo (Metcalf, 2002):

- **Carga hidráulica:** La carga hidráulica se refiere al flujo de agua que entra en el sedimentador y debe ser tomada en cuenta para determinar el tamaño del sedimentador y su capacidad de tratamiento.
- **Concentración de sólidos:** La concentración y el tipo de sólidos presentes en el agua cruda afectarán la eficiencia de sedimentación del sedimentador. Es importante conocer la concentración de sólidos suspendidos para calcular la tasa de sedimentación y el tiempo de retención hidráulico requerido.
- **Tamaño de partículas:** Las características de las partículas suspendidas en el agua cruda, como su tamaño y densidad, influirán en su velocidad de sedimentación y en el diseño del sedimentador.
- **Tiempo de retención hidráulico (TRH):** El TRH es el tiempo que el agua pasa dentro del sedimentador y debe ser suficiente para permitir una sedimentación adecuada de las partículas suspendidas. Se calcula dividiendo el volumen del sedimentador por el caudal de entrada de agua.
- **Velocidad de sedimentación:** La velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas es un parámetro clave que determina la eficiencia del proceso de sedimentación. Se debe diseñar el sedimentador para proporcionar una velocidad de sedimentación adecuada para las partículas presentes en el agua cruda.

- **Profundidad del tanque:** La profundidad del tanque de sedimentación es importante para proporcionar suficiente tiempo de retención hidráulico y espacio para la sedimentación de las partículas. Se debe determinar en función del TRH requerido y la carga hidráulica.
- **Geometría del tanque:** El diseño y la geometría del tanque de sedimentación, como la forma y el ángulo de inclinación del fondo, afectarán la eficiencia del proceso de sedimentación. Se deben seleccionar para promover una sedimentación uniforme y una remoción eficiente de lodo.

Un esquema típico del proceso de floculación-coagulación y sedimentación se puede ver a continuación.

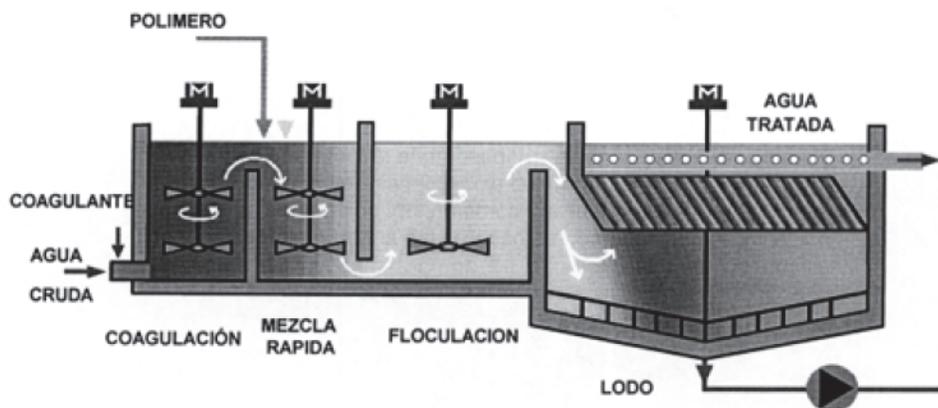


Imagen 9. Esquema típico de un proceso de coagulación-floculación y sedimentación.

Fuente: Alarcón-Herrera, 2012.

4.3.3. Filtración

El proceso de filtración es una etapa crucial en el tratamiento de agua en una planta potabilizadora. Consiste en pasar el agua a través de medios filtrantes para eliminar partículas suspendidas, microorganismos, materia orgánica y otras impurezas presentes en el agua cruda. Este proceso ayuda a eliminar incluso las partículas más pequeñas y aclarar el agua antes de que pase a etapas adicionales de tratamiento, como la desinfección.

Existen distintos tipos de filtros utilizados. Los más comunes son los filtros de arena. Consisten en capas de arena y grava de diferentes tamaños dispuestas en un lecho dentro de un recipiente. El agua se filtra a través de este lecho, donde las partículas suspendidas quedan atrapadas en los espacios entre los granos de arena y grava. También existen los filtros de membrana, que utilizan membranas semipermeables para retener partículas,

microorganismos y sustancias disueltas en el agua. Estos filtros pueden ser de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis inversa, dependiendo del tamaño de poro de la membrana y el tipo de contaminantes que se desean eliminar. Por último, existen filtros de carbón activado, que pueden ser de forma granular o en polvo. Sirven para adsorber compuestos orgánicos, productos químicos y sabores y olores no deseados presentes en el agua (Younos, 2014).

Los filtros de arena son eficaces para retener partículas sólidas más grandes y para reducir la turbidez del agua, tienen un costo inicial relativamente bajo y una menor probabilidad de colapso del lecho filtrante en comparación con otros tipos de filtros, lo que facilita la operación y el mantenimiento. Sin embargo, no son tan eficientes para retener partículas muy pequeñas y microorganismos, requieren lavado regular para eliminar las partículas acumuladas en el lecho filtrante, lo que puede aumentar los costos de operación, y pueden ocupar un espacio considerable en comparación con otros sistemas de filtración.

Los filtros de carbón activado tienen la capacidad de adsorber compuestos orgánicos, productos químicos y algunos contaminantes específicos, mejorando el sabor y olor del agua, y pueden retener partículas finas y coloides. Como contraparte, el costo inicial y de operación es más elevado en comparación con algunos otros medios filtrantes, requiere regeneración o reemplazo a medida que el carbón activado se satura, lo que agrega costos operativos, y pierden eficiencia con el tiempo ya que se satura su capacidad de adsorción.

Los filtros de membranas tienen una retención efectiva de partículas y microorganismos, proporcionando una barrera efectiva para contaminantes microbiológicos. Ofrecen una alta calidad de agua tratada, generalmente cumpliendo con estándares rigurosos. Además, las membranas suelen requerir menos espacio físico en comparación con otros sistemas. Como desventajas, las membranas pueden ser sensibles a la calidad del agua y pueden requerir pretratamientos adicionales para evitar la obstrucción y la degradación de su rendimiento, pueden tener costos iniciales más altos y pueden requerir mantenimiento y reemplazo periódico, y fundamentalmente requieren presión para operar, lo que agrega costos de energía (Younos, 2014).

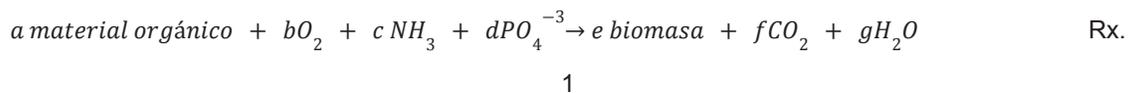
En general, la elección entre los diferentes tipos de sistemas filtrantes dependerá de los objetivos de tratamiento, las características específicas del agua cruda y las consideraciones económicas y operativas de la planta de tratamiento. En este caso, se utilizarán filtros de arena por su bajo costo y simplicidad de operación y mantenimiento.

4.4. Tratamiento Secundario (PTEC)

En el tratamiento secundario se da lugar a procesos biológicos capaces de eliminar la materia orgánica biodegradable, ya sea en solución o en suspensión. Estos procesos son realizados por microorganismos en un proceso controlado, que puede ser aeróbico o anaeróbico, dependiendo de la tecnología de tratamiento. Los microorganismos suelen ser mayormente bacterias y protozoos, que consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (como azúcares, grasas y residuos humanos) para asimilarlos o transformarlos en productos simples y no contaminantes, y al mismo tiempo se reproducen para formar células de sólidos biológicos, también llamados flocs biológicos. Los objetivos principales del tratamiento biológico son transformar material biodegradable disuelto en productos finales aceptables mediante reacciones como la oxidación, incorporar sólidos al floc biológico o biofilm, transformar o remover nutrientes como nitrógeno y fósforo, y en algunos casos remover contaminantes orgánicos traza.

Los principales procesos pueden ser clasificados como aerobios, anaerobios, anóxicos, facultativos y combinados. A su vez, los sistemas utilizados pueden ser de crecimiento suspendido (móviles), adherido (fijos) o una combinación. En los sistemas fijos, la biomasa crece sobre un medio y las aguas residuales pasan por encima de su superficie. En los sistemas móviles los microorganismos están en suspensión en el agua y se mezclan con el efluente a tratar. Se basan en el mantenimiento y recirculación de una biomasa compleja compuesta por microorganismos (Metcalf, 2002).

. La estabilización y remoción en estos procesos, particularmente de materia orgánica en forma de DBO se logra mediante el uso de una variación de microorganismos, principalmente bacterias. Estos microorganismos se usan para oxidar el material orgánico disuelto y particulado y convertirlos en moléculas simples y biomasa. La reacción genérica de este proceso se presenta de la siguiente forma:



donde a, b, c, d, e, f y g son los coeficientes estequiométricos. En la reacción se puede ver que el oxígeno, el amoníaco y el fosfato son los nutrientes necesarios para la conversión de materia orgánica en productos simples como el dióxido de carbono y agua, además de biomasa.

En este tipo de procesos, factores como el pH y la temperatura son cruciales para el buen funcionamiento y la prospección de los microorganismos, ya que estos pueden sobrevivir en un rango acotado de pH y temperatura. Los valores van a depender del tipo de microorganismo presente. Generalmente, el pH apropiado para el crecimiento de las bacterias se encuentra entre 6,5 y 7,5. Para el diseño y dimensionamiento de los equipos, parámetros como el COD, los SSV, la demanda de oxígeno y la concentración de materia orgánica son esenciales (Metcalf, 2002).

En este caso, se considerarán dos alternativas para el tratamiento secundario en la planta depuradora. En primer lugar, el uso de un reactor con lodos activos y un sedimentador secundario. Por el otro lado, la instalación de un reactor secuencial batch.

Los lodos activos son un sistema aeróbico y de lecho suspendido. En este, los microorganismos suspendidos en el agua que se utilizan para descomponer la materia orgánica forman una masa biológica floculenta, conocida como lodos activados, que se mezcla con el agua residual en la cámara de aireación. En este proceso, el agua residual es aeróbicamente tratada en una cámara de aireación durante un período determinado de tiempo, según el sistema de aireación que se utilice. Esto permite la interacción entre el agua residual y los microorganismos presentes en el sistema, lo que promueve la descomposición de la materia orgánica.

El reactor secuencial batch también es un sistema de lecho móvil y aerobio. En este caso, se trata de un reactor discontinuo que lleva a cabo todos los procesos del tratamiento en el mismo reactor, por lo que no requiere de un sedimentador secundario a continuación. Este proceso trata las aguas residuales en modo de lotes, y cada lote se secuencia a través de una serie de etapas de tratamiento.

A continuación se explican en mayor detalles ambas alternativas.

4.4.1. Lodos activos y Sedimentador Secundario

Los lodos activos son uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas cloacales. Como ya se ha explicado, este sistema se basa en la actividad biológica de microorganismos suspendidos en el agua residual para descomponer y eliminar contaminantes presentes en el agua. Los microorganismos, principalmente bacterias, se mantienen suspendidos en el agua residual y se alimentan de la materia orgánica presente en ella, formando una masa biológica floculenta conocida como lodos activos. Estos lodos

absorben el oxígeno y eliminan contaminantes. Luego, el líquido obtenido es redirigido a un tanque de sedimentación.

El sistema de lodos activos se mantiene en un ambiente aeróbico mediante la provisión de oxígeno en el agua residual. Esto se logra a través de la aireación, donde se agita y oxigena continuamente el agua residual para mantener condiciones favorables para el crecimiento de los microorganismos aeróbicos. La fuente de aireación puede ser mediante difusores, sistemas de aireación mecánica o inyectando oxígeno puro.

Para lograr este proceso es necesario contar con los siguientes componentes:

- **Reactor:** es el equipo donde se encuentran los microorganismos en suspensión que llevan a cabo la depuración del agua. El diseño y la operación del reactor dependen de la carga orgánica, la presencia de sustancias tóxicas e inhibitorias, y de la temperatura.
- **Sistema de aireación:** se logra mediante difusores de aire. Pueden estar dispuestos en el fondo del reactor o en otras ubicaciones estratégicas para garantizar una distribución uniforme del oxígeno en toda la masa de agua.
- **Mecanismos de mezcla:** pueden ser agitadores mecánicos, paletas de mezcla o sistemas de recirculación que aseguran una mezcla adecuada de agua residual y lodos activados en el reactor. La mezcla homogénea es fundamental para facilitar la interacción entre los microorganismos y los contaminantes presentes en el agua.
- **Tanque de sedimentación:** es donde se produce la separación de sólidos y líquidos.
- **Sistema de recirculación:** es el conjunto de tuberías y bomba para enviar los lodos del tanque de sedimentación al reactor.
- **Tubería de desecho:** es por donde se elimina el exceso de lodos biológicos del sistema.
- **Sistema de control y monitoreo:** son sensores y dispositivos de control que supervisan parámetros como la concentración de oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la concentración de sólidos en el reactor. Estos sistemas garantizan un funcionamiento óptimo del proceso biológico y permiten ajustes según sea necesario.

El proceso completo implica distintas etapas, que son las siguientes:

- **Aireación:** Durante la aireación extendida, el agua residual se agita y oxigena continuamente para mantener condiciones aeróbicas favorables para el crecimiento de microorganismos aeróbicos.
- **Biodegradación:** Los microorganismos presentes en los lodos activados utilizan la materia orgánica como fuente de alimento, descomponiéndola en productos estables.
- **Sedimentación:** Después del proceso de aireación, el agua tratada se separa de los lodos activados mediante un proceso de sedimentación en un sedimentador secundario, donde los lodos se separan y se recirculan al reactor biológico para mantener la población de microorganismos.
- **Recirculación:** una parte de la biomasa sedimentada es recirculada al reactor para mantener una concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.
- **Purga:** la otra parte de la biomasa que no es recirculada es eliminada del sistema, y se conoce como lodo residual.

El diseño del reactor puede ser de forma rectangular, cuadrado o circular. Las dimensiones y los sistemas elegidos dependerán de factores como la carga orgánica del agua, la eficiencia de remoción requerida, la temperatura, el pH, y los requerimientos de oxígeno disuelto.

Un esquema típico de una configuración de lodos activos y un sedimentador secundario puede verse a continuación.

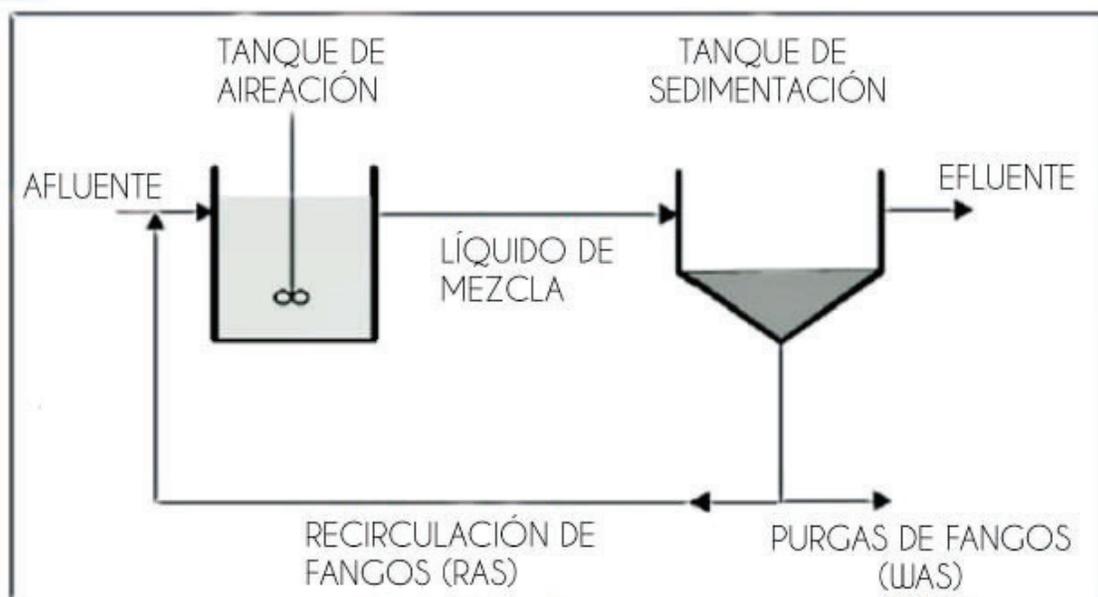


Imagen 10. Proceso de un sistema de lodos activados.

Fuente: ISA, 2016.

4.4.2. Reactor Secuencial Batch

El reactor secuencial por tandas (Sequencing Batch Reactor, SBR) es un sistema también de lodos activados suspendidos para tratamiento del agua residual en condiciones aeróbicas. Utiliza ciclos de llenado y descarga, donde todas las etapas requeridas para el proceso de depuración ocurren en el mismo tanque. Sin embargo, si se desea un flujo continuo es necesario disponer de al menos dos tanques. Las etapas que suceden una a continuación de la otra son las siguientes (Metcalf, 2002):

1. **Llenado:** ingresa el agua residual a tratar al reactor, generalmente permitiendo cubrir el 100% de la capacidad, después de quedar en un 75% al final de la última etapa. Si se usan dos tanques, el tiempo de llenado puede ocupar hasta la mitad del tiempo total del ciclo. En esta etapa puede haber tanto mezclado como mezclado más aireación para promover las reacciones biológicas.
2. **Reacción:** ocurre el proceso de descontaminación llevado a cabo por los microorganismos, Esto sucede en condiciones aeróbicas, bajo una mezcla completa para proveer la aireación.
3. **Sedimentación:** en esta etapa se detiene la aireación. De esta manera, los sólidos sedimentan en el fondo del reactor y el agua clarificada queda en la parte superior. Esto se logra mediante el diseño de la geometría del depósito.
4. **Descarga (decantación):** se evacúa el agua clarificada con un decantador móvil o por flotación.
5. **Vaciado:** se retiran los fangos en exceso del fondo. Esta etapa tiene lugar en un sistema de dos tanques, para darle tiempo a un tanque de llenarse. No es una etapa estrictamente necesaria, por lo que puede ser omitida.

La homogeneización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en el reactor único. Sin embargo, como se ha mencionado, para optimizar el desempeño del sistema, se utilizan dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada. Los sistemas SBR han sido utilizados con éxito para tratar aguas residuales. Estos sistemas son especialmente efectivos para aplicaciones de tratamiento de agua residual caracterizadas por caudales reducidos o intermitentes.

Para diseñar el reactor, es necesario definir la cantidad de tanques, los tiempos de cada etapa, y la cantidad de ciclos que se harán por día. Esto dependerá también de las características del agua a tratar, en especial el caudal y la carga orgánica. Luego, la profundidad del tanque se diseña en función de la altura del manto de lodos calculada, a la que se suma una zona de seguridad y la zona de clarificado. Además, se debe calcular el requerimiento de oxígeno para definir el sistema de aireación. Esto se realiza con difusores de burbuja fina que distribuyen el caudal de aire en el fondo del reactor.

Esta tecnología es capaz de tolerar variaciones de carga, temperatura y caudal. Además, tiene un bajo requerimiento de espacio y costo de inversión, ya que todo el proceso se realiza en un solo tanque y no hay necesidad de un sedimentador secundario. Como contraparte, este equipo requiere una mayor capacitación técnica del personal que lo va a utilizar, tanto para el control como el mantenimiento, ya que se requiere un nivel mayor de sofisticación (en comparación a los sistemas convencionales) de las unidades de programación temporal y controles. Además, tiene una mayor generación de lodos que puede implicar una descarga potencial de lodos flotantes o sedimentados en el agua clarificada durante la fase de descarga o decantación del reactor, pasando a la siguiente etapa del tren de tratamiento y afectando la eficiencia.

En la siguiente imagen se presenta un esquema de los procesos llevados a cabo en el SBR.

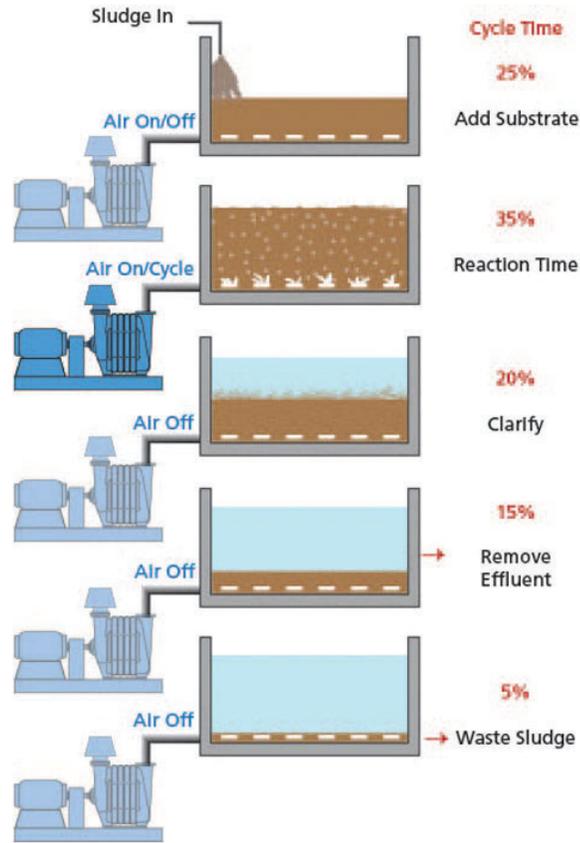


Imagen 11. Proceso del reactor por lotes secuenciales

Fuente: Hoffman & Lamson

4.5. Desinfección (PTEC y PTAP)

El proceso de desinfección es fundamental tanto en una planta de tratamiento de efluentes cloacales como en una planta potabilizadora para garantizar la seguridad del agua y la salud humana. El objetivo de este tratamiento es eliminar microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos, que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente si se liberan sin tratar. La desinfección garantiza que el agua tratada sea segura para su consumo o descarga en cuerpos de agua receptores.

En ambos casos (planta potabilizadora y depuradora), existen varios métodos de desinfección disponibles, como la cloración y la radiación ultravioleta (UV), entre otros (el método de filtración por carbón activado se explica en la sección posterior, sobre tratamiento de contaminantes emergentes). Cada método tiene sus ventajas y desventajas

en términos de eficacia, costos y consideraciones ambientales, y la elección del método adecuado dependerá de factores específicos de cada planta.

4.5.1. Cloro

Una cámara de cloración es un componente del sistema de tratamiento de agua donde se añade cloro al agua con el fin de desinfectarla. Puede ser una estructura cerrada o un tanque abierto donde se dosifica el cloro en el agua para eliminar los microorganismos patógenos.

El diseño de una cámara de cloración debe considerar varios aspectos, como la capacidad de tratamiento de la planta, la concentración requerida de cloro residual, la tasa de flujo del agua a tratar y las condiciones ambientales. Se deben seleccionar los equipos de dosificación de cloro adecuados, como bombas dosificadoras o sistemas de cloración por gas, y se deben instalar de manera que se garantice una distribución uniforme del cloro en el agua.

Entre sus ventajas, se encuentra la amplia disponibilidad y bajo costo del cloro, y que es efectivo contra una amplia gama de microorganismos. Como desventajas, puede generar subproductos de desinfección no deseados, y requiere almacenamiento y manipulación cuidadosa debido a su potencial toxicidad, factor importante a tener en cuenta por las características de este proyecto.

4.5.2. Luz UV

La desinfección con luz ultravioleta, con una longitud de onda entre 240 y 280 nm de rango, ataca directamente el ADN de la bacteria. La radiación inicia una reacción fotoquímica y destruye información genética contenida en el ADN de la bacteria, haciendo que pierda su capacidad de reproducción y es destruida. Esto puede realizarse en un reactor UV de paso único, donde el agua fluye una sola vez alrededor de la lámpara UV, o en un reactor de paso múltiple, donde el agua pasa múltiples veces alrededor de la lámpara UV para una mayor eficiencia de desinfección. La luz puede ser emitida por lámparas de baja presión para aplicaciones de desinfección de agua potable o bajos caudales, o por lámparas de media o alta presión para aplicaciones industriales o de mayor caudal. En este caso, se contemplará el uso de un reactor de paso único con lámparas de baja presión, por los requerimientos necesarios. Además, se debe contar con un sistema de monitoreo de transmisión UV para medir la eficacia de la desinfección, y un sistema de limpieza y mantenimiento para garantizar el rendimiento óptimo de las lámparas UV.

Los aspectos positivos de este sistema son que no deja residuos químicos en el agua tratada y no hay necesidad de almacenar ni manipular reactivos químicos. Tampoco afecta el sabor, olor ni el pH del agua. Además, es seguro y fácil de operar, y requiere menor espacio que las demás alternativas. A su vez, tiene bajos costos de funcionamiento e inversión con alto rendimiento y eficacia.

Como aspectos negativos está que la eficacia puede verse afectada por la calidad del agua y la presencia de turbidez, y la sobreexposición a la radiación UV puede causar graves problemas de salud. Además, no proporciona protección residual contra la recontaminación, y no cumpliría con el mínimo de cloro residual establecido por el código alimentario argentino para el agua potable. Por este motivo, se debería agregar de igual manera la cantidad de cloro necesaria para cumplir con la normativa. Sin embargo, sería una cantidad menor a la necesaria para la desinfección total con cloro. Esto se tendrá en cuenta para el análisis de alternativas.

4.6. Tratamiento de contaminantes emergentes (PTEC)

Hoy en día, los contaminantes emergentes no son comúnmente tratados en los sistemas de tratamiento convencionales ya que siguen sin estar regulados ni monitoreados por la mayoría de los países. Sin embargo, se sabe que los tratamientos de aguas residuales empleando métodos convencionales no son del todo satisfactorios en la eliminación de este tipo de compuestos, al punto que se ha detectado que muchos persisten sin alteración alguna aún después de aplicar tratamientos terciarios de desinfección (Teijon, 2004). Por tal razón, es importante identificar y evaluar la eficiencia de otras tecnologías para el tratamiento de aguas, con el fin de proponer alternativas que permitan minimizar la presencia de CE.

Las tecnologías de tratamiento de CE son novedosas y están en constante desarrollo. Se han estudiado varias opciones que incluyen sistemas con tratamientos físicoquímicos como procesos de oxidación avanzada y la adsorción por carbón activado que se postulan como algunos de los tratamientos más eficientes para la remoción de los contaminantes emergentes, pero siguen siendo estudiadas.

4.6.1. Oxidación Avanzada

Los procesos de oxidación avanzada pueden definirse como procesos que implican la formación de radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$) de potencial de oxidación mucho mayor que el de

otros oxidantes tradicionales, y son capaces de mineralizar y oxidar casi cualquier molécula orgánica produciendo algunos aniones inorgánicos y CO_2 (Amaro Soriano, 2022). Si bien existen distintas tecnologías, para este proyecto se va a considerar el uso de lámparas UV, que pueden emplear la radiación en la región del ultravioleta para generar los radicales $\bullet\text{OH}$ para generar procesos fotoquímicos, y se ha considerado previamente como alternativa para la desinfección del agua.

Estudios han demostrado la capacidad de la radiación UV de degradar CE, sin la necesidad de añadir reactivos químicos. Hay que tener en cuenta que un fotón de 254 nm equivale a 4,89 eV, lo que implica una energía suficiente para producir rupturas homolíticas y heterolíticas en moléculas. Esto también puede realizarse con lámparas UV de baja presión. Un estudio logró la degradación total (al menos, por debajo del límite de cuantificación del estudio) de cuatro compuestos, entre los cuales se encontraba el diclofenac. Según investigaciones, es fácilmente degradable por este método, lo que se respalda por la absorbancia del compuesto, con picos de absorción en el rango del UV (De la Cruz González, 2013).

4.6.2. Carbón activado

El carbón activado es uno de los adsorbentes más utilizados. El proceso de adsorción es el proceso por el cual iones, moléculas o átomos de gases, líquidos o sólidos disueltos se adhieren a una superficie. Gracias a su alta capacidad adsorptiva, se puede utilizar este material para la eliminación de CE. Durante este proceso se forman diferentes interacciones entre el adsorbente y el soluto, que pueden ser de naturaleza física, química o electrostática (María Peñalver Romero, 2020).

Los carbones activados están disponibles en varias formas y tienen propiedades superficiales únicas. Las propiedades físicas y químicas de la superficie del carbón activado, como el área superficial, el tamaño y volumen de los poros, y los grupos funcionales, pueden ser modificadas para proporcionar diferentes calidades de superficie y efectividad de eliminación. El precursor, el agente activador, la temperatura de activación y la técnica de producción influyen en estas características (Cruz-Cruz et al., 2023).

El tratamiento se realiza haciendo pasar al agua contaminada a través de un lecho de carbón activado, donde los contaminantes emergentes (además de sólidos suspendidos y contaminantes patógenos) se adsorben en la superficie del carbón. Para esto, es crucial asegurar un tiempo adecuado de contacto entre el agua y el carbón activado para permitir

una adsorción efectiva de los contaminantes. Esto puede lograrse mediante sistemas de flujo continuo o mediante procesos de tratamiento en lotes. Delgado Espinosa ha logrado remociones superiores al 90 % para distintos fármacos con esta tecnología. En otros estudios, Westerhoff et al. también lograron eficiencias de remoción superiores al 90%. Se debe tener en cuenta que el material tiene una capacidad limitada y puede saturarse, por lo que necesita ser regenerado o reemplazado, teniendo así implicancias en costos y operaciones de mantenimiento.

4.7. Tratamiento de lodos (PTEC y PTAP)

A lo largo del tren de tratamiento tanto de la planta potabilizadora como de la planta depuradora, como se ha descrito previamente, se generan residuos sólidos que deben ser tratados. Estos sólidos, conocidos como lodos, contienen una mezcla de materia orgánica, microorganismos, productos químicos y otros contaminantes que deben ser tratados para su disposición segura. El tratamiento de lodos implica el manejo y procesamiento de los sólidos, generalmente mediante procesos físicos como la sedimentación, seguido de procesos de deshidratación, estabilización y desinfección de los lodos. Se busca reducir el volumen de lodos para facilitar su manejo y disposición final, estabilizar los lodos para reducir su potencial de generación de olores desagradables y para eliminar o reducir la presencia de microorganismos patógenos, y cumplir con las regulaciones ambientales que establecen estándares para la gestión segura de los residuos sólidos.

Las etapas en este proceso pueden incluir en primer lugar una estabilización, donde los lodos pueden someterse a procesos biológicos (como la digestión anaeróbica o la compostaje) o químicos (como la desinfección con cal) para estabilizar la materia orgánica y reducir la presencia de patógenos. Luego, una deshidratación, donde los lodos se someten a procesos de deshidratación para reducir su contenido de agua, lo que facilita su manejo y transporte. Esto puede realizarse con equipos como espesadores por gravedad o centrífugas, entre otros, o mediante playas de secado. Por último, se procede a la disposición final de los lodos.

En este caso, se realizará únicamente una deshidratación mediante un espesador, ya que no se considera necesario ninguno de los otros pasos por las características que tendrán los lodos, las características y los requisitos del proyecto y la disposición final de lodos. Además, considerando los costos de los procesos y las limitaciones de espacio, se considera que el espesador será suficiente para el tratamiento de los lodos, minimizando su volumen para su disposición final en tambores. Los lodos tratados serán dispuestos en

tambores diferenciados hasta su recolección y traslado. Cabe destacar que se unificarán todos los lodos generados, tanto los de la planta depuradora como los de la planta potabilizadora, al no tener grandes volúmenes.

De esta manera, el tren de tratamiento de la planta potabilizadora queda de la siguiente forma.

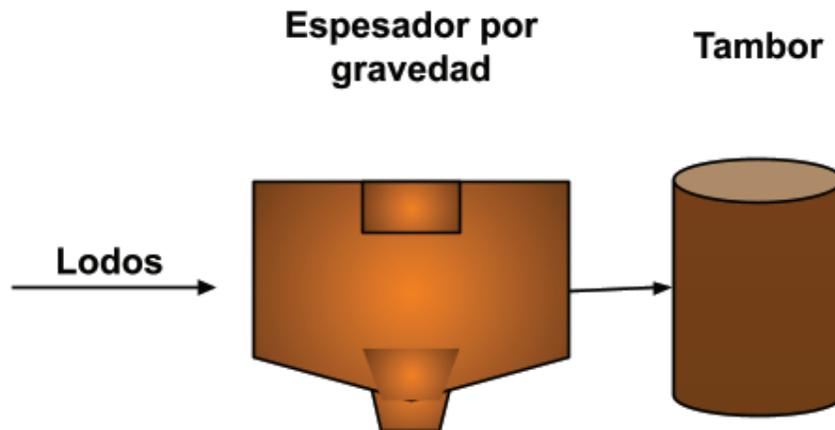


Imagen 12. Tren de tratamiento de lodos

Fuente: Elaboración propia

Este tren de tratamiento se ubicará dentro del galpón de la planta depuradora. Los lodos generados en la planta potabilizadora deberán ser trasladados hacia allí en tambores.

4.8. Tambores

Los tambores utilizados para almacenar residuos en la Antártida deberán ser contenedores robustos y resistentes diseñados específicamente para soportar las duras condiciones climáticas y proteger el medio ambiente frágil de la región. Materiales resistentes a la corrosión y al impacto, como el acero inoxidable o el plástico de alta densidad son opciones factibles. Además, su diseño debe incluir características especiales para evitar fugas y derrames, como cierres herméticos y tapas selladas. Es fundamental que estos tambores cumplan con los estándares ambientales más estrictos para garantizar la preservación del ecosistema antártico.

4.9. Relleno sanitario de Ushuaia

Los residuos sólidos urbanos generados en Ushuaia son gestionados por la empresa Agrotécnica Fueguina. Esta empresa se encarga de la recolección, tratamiento, y disposición final. La disposición final se realiza en el relleno sanitario de Ushuaia. Este se encuentra ubicado en la entrada norte a la ciudad, pegado al curso del Río Olivia. El relleno sanitario es una obra de ingeniería de disposición final de la basura que permite que los lixiviados (líquido que se desprende de la descomposición de los residuos) y los gases generados se gestionen adecuadamente. Luego, todos los restos son compactados y el relleno cubierto. El relleno se encuentra alarmantemente excedido en altura, y sin ningún tipo de tratamiento de residuos, aunque se está trabajando en la ampliación del mismo (Noticia de Tapa, 2022).

Por su parte, la empresa mencionada no recolecta los siguientes tipos de residuos (Fuente: Agrotécnica Fueguina):

- Residuos de obra: escombros, tachos de pintura, sanitarios, etc.
- Pilas y residuos electrónicos: computadoras, celulares, televisores, etc.
- Residuos patógenos: jeringas, elementos con sangre, etc.
- Residuos contaminantes: restos de aceite y/o productos de lubricantes o talleres mecánicos, ácidos, líquidos corrosivos, contaminantes, inflamables, etc.

Para enviar los residuos generados en la BACE a este relleno, se deben trasladar en barcos hasta el puerto de Ushuaia, para que la empresa en cuestión se haga cargo de su tratamiento y disposición final. Esta opción resulta ser la más eficiente en términos de viaje, dado que es el puerto más cercano. Sin embargo, se puede notar que si bien la cantidad de residuos generados es baja al tratarse de una población chica, el relleno tiene complicaciones en cuestiones de capacidad.

4.10. CEAMSE

La Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) es una empresa creada por los estados de la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires para realizar la gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) del Área Metropolitana Buenos Aires. Actualmente cuenta con 4 complejos ambientales activos. Uno de ellos es el Complejo Ambiental Norte III, ubicado en Don Torcuato, provincia de Buenos Aires desde hace más de cuatro décadas. Recibe un promedio de 436.325 tn/mes,

y utiliza procesos modernos de gestión ambiental, como plantas de tratamiento biológico, de líquidos lixiviados, de tratamientos de gases y generación de energía eléctrica, y de compostaje.

De optar por esta alternativa para la disposición de los residuos provenientes por la BACE, estos deberán ser trasladados en barcos hasta el Puerto de Buenos Aires, para luego ser recolectados por camiones de la empresa en cuestión. Esto no solo implica un mayor traslado (lo cual conlleva mayores costos económicos y ambientales), sino también implica que la empresa se haga cargo de los residuos generados en territorio antártico. Sin embargo, esto está habilitado por el Tratado Antártico, siempre y cuando se respeten los reglamentos establecidos. También se puede notar que el aporte de los residuos antárticos sería muy bajo en comparación a lo que ya recibe.

4.11. Análisis Comparativo de Alternativas

En esta sección se hará un análisis cualitativo entre las alternativas propuestas, a fin de optar por la mejor opción posible. Para esto, se tendrán en cuenta aspectos generales por las características del proyecto como los requerimientos de espacio, tareas de control, operación y mantenimiento necesarias, costos, y la necesidad de trasladar y almacenar materiales y/o reactivos. A su vez, se evaluarán las características particulares de cada alternativa, como la eficiencia en la remoción de los parámetros de interés.

El análisis se hará mediante un sistema de puntajes ponderativos. En este, se le asignará un valor del 1 al 5 a cada variable que se analice, donde 1 serán aquellas variables de menor importancia, y 5 las de mayor importancia. Luego, para cada alternativa también se utilizará un sistema de puntuación de 1 a 5, donde 1 será en caso de que no cumpla bien con la variable, y 5 aquella que cumpla de buena manera. A continuación, se explican los dichos puntajes:

- Para el puntaje ponderativo, los valores para las variables serán los siguientes:
 1. Muy poco importante
 2. Poco importante
 3. Importancia media
 4. Algo importante
 5. Muy importante
- Para el puntaje de cada alternativa, los valores serán los siguientes:
 1. No satisface

2. Satisface poco
3. Satisface medianamente
4. Satisface algo
5. Satisface mucho

Luego, el puntaje total saldrá de la sumatoria del producto entre el puntaje ponderativo de cada variable por el valor asignado para dicha variable de cada alternativa.

4.11.1. Planta potabilizadora

Para la planta potabilizadora, luego del tratamiento primario descrito, se evaluará realizar la desinfección mediante el uso de cloro o luz UV con el agregado de cloro para cumplir con el mínimo de cloro residual. A continuación se presenta una tabla comparativa que ayudará a elegir.

Tabla 10. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para la planta potabilizadora.

Factor	Puntaje ponderativo	Cloro	UV
Remoción de patógenos	5	5	5
Espacio requerido	4	2	3
Reactivos necesarios	3	3	4
Costo inicial	3	5	4
Costos de operación y mantenimiento	1	4	3
Dificultad de operación y mantenimiento	4	4	4
Costo energético	2	5	4
Cloro residual	5	5	1
Total		112	93

Viendo la tabla, se puede ver que el uso de cloro resultó ser la alternativa de mayor puntuación. Ambas tecnologías son eficientes y tienen bajas implicancias en términos de costos y dificultades técnicas. Si bien el uso del cloro implica un mayor espacio, el uso de UV implica un mayor costo energético. A su vez, cabe recordar que el uso de UV también implica un paso posterior de cloro. Igualmente, se consideró que en ambos casos la cantidad de cloro a utilizar es baja dado el poco caudal y la baja concentración de

patógenos a tratar. Por estos motivos, se optó por el uso de cloro para lograr la desinfección en esta planta, ya que se cuenta con espacio como para este equipo, implicaría un menor costo energético y principalmente se elimina la necesidad de dos pasos, lo que podría resultar en mayores dificultades a la hora de la operación.

De esta manera, el tren de tratamiento de la planta potabilizadora queda de la siguiente forma.

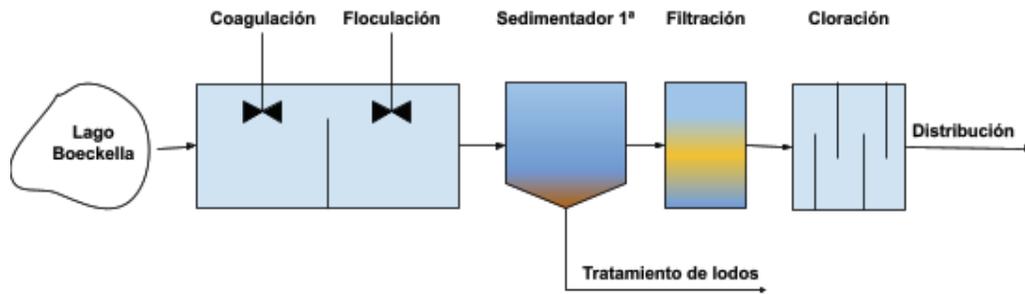


Imagen 13. Tren de tratamiento de la planta potabilizadora

Fuente: Elaboración propia

Otra alternativa en cuanto a la potabilización de agua en la Antártida es la desalinización de agua de mar, que por cuestiones de extensión y alcances de este proyecto no se consideró.

4.11.2. Planta depuradora

En la planta depuradora se plantearon dos alternativas para tres etapas del tren de tratamiento. En primer lugar, el tratamiento secundario se hará mediante lodos activos con sedimentador secundario o mediante un reactor secuencial batch. Se confeccionó una tabla comparativa con los factores más importantes a tener en cuenta para la elección, que se presenta a continuación.

Tabla 11. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para el tratamiento secundario de la planta depuradora.

Factor	Puntaje ponderativo	Lodos activos + Sedimentador Secundario	Reactor Secuencial Batch
Remoción de DBO y DQO	5	5	5
Remoción de nutrientes	4	2	3

Remoción de patógenos	4	3	2
Espacio requerido	4	3	3
Producción de lodos	3	4	3
Costo inicial	3	3	3
Costos de operación y mantenimiento	1	3	4
Dificultad de operación y mantenimiento	4	4	3
Costo energético	2	2	2
Flexibilidad	4	5	3
Sensibilidad a shocks de carga y caudal	4	4	3
Total		137	119

Observado la tabla, se puede ver que ambas alternativas tienen sus ventajas y sus desventajas. En términos de remoción de contaminantes, ambos tienen alta eficiencia en términos de DBO y DQO, pero la tecnología de lodos activos con sedimentador secundario es más eficiente en términos de contaminantes patógenos, mientras que el reactor secuencial batch es más eficiente en la remoción de nutrientes. Luego, el espacio es similar, dado que como se ha explicado previamente, si bien el reactor secuencial lleva a cabo todos los procesos en el mismo reactor, se necesitan dos para que la planta funcione en continuo. En cuanto a la producción de lodos, el reactor secuencial implica una mayor generación de lodos que se deben tratar, lo que repercute en mayores costos ambientales y costos más altos para su tratamiento y disposición. Por último, otra gran diferencia que se ve gira en torno a la operación y el mantenimiento, aspecto que se ha mencionado que es clave por las características del proyecto. Tanto los costos como las dificultades son mayores para el reactor secuencial batch. Considerando todos estos aspectos, se define que el uso de lodos activos con sedimentador secundario resulta ser la mejor opción, siendo la de mayor puntuación.

Luego se hará el análisis de alternativas para el tratamiento de contaminantes emergentes.

Tabla 12. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para el tratamiento de CE de la planta depuradora.

Factor	Puntaje ponderativo	Oxidación Avanzada con UV	Carbón activado + Luz UV
Remoción de fármacos	5	5	5
Remoción de patógenos	4	5	5
Espacio requerido	4	5	4
Costo inicial	3	4	2
Costos de operación y mantenimiento	1	4	3
Dificultad de operación y mantenimiento	4	4	3
Costo energético	2	3	3
Sensibilidad	5	1	5
Total		108	113

Como se observa en la tabla, la alternativa de carbón activado con luz UV resultó ser la de mayor puntuación. Ambas alternativas tienen una buena remoción de fármacos, el cual es el objetivo principal. Además, no requieren de grandes espacios ni inversión inicial. Sin embargo, la tecnología de oxidación avanzada por UV es muy sensible a la presencia de SST o turbidez en el agua, factor que termina siendo decisivo en la ponderación ya que es altamente probable el escape de SST o turbidez a la salida del sedimentador secundario. De esta manera, se decidió optar por el uso de carbón activado para tratamiento de CE. Sin embargo, esto no garantiza una alta remoción de patógenos, lo cual es importante a la hora de reusar el agua. Si bien tanto el tratamiento de contaminantes emergentes como la remoción de patógenos podría realizarse mediante luz UV y eliminar así la necesidad de tratarlos por separado en dos pasos, la calidad de agua a la salida del sedimentador no asegura un buen tratamiento por esta tecnología. Por ende, a continuación del filtro de carbón activado se pondrá una unidad de desinfección, la cual como se ha descrito puede realizarse por UV o por cloro. Para la planta potabilizadora, la opción más viable resultó ser la cloración. Sin embargo, en este caso se decide optar por luz UV, debido a que en este caso no es necesaria la presencia de cloro residual en el agua y que la luz UV podría actuar como una segunda barrera para los contaminantes emergentes.

Para concluir con el tren de tratamiento, cabe recordar que se planteó la reutilización del efluente tratado para abastecer a las viviendas en los usos que no requieran agua potable. Para esto, si bien no hay normativa que regule las características que debe tener el agua, se considera que se encuentran aptas para reuso luego del tratamiento terciario, luego de que el efluente haya tenido una desinfección de patógenos. Por ende, una parte del efluente será redirigido hacia las viviendas, mientras que la otra fracción será conducida por un caño hacia el vuelco final. Considerando que se planteó un tratamiento abarcativo y que la legislación relevada lo permite, se decidió verter el efluente tratado en el chorrillo Prasiola.

De esta manera, el tren de tratamiento de la planta depuradora queda de la siguiente forma.

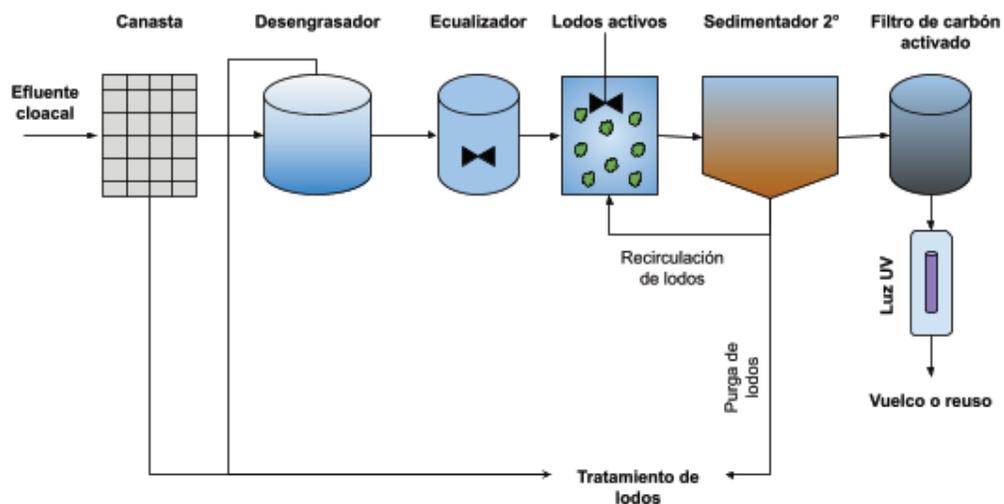


Imagen 14. Tren de tratamiento de la planta depuradora

Fuente: Elaboración propia

4.11.3. Gestión de residuos

La gestión de residuos implica la disposición de lo generado en la BACE en tambores diferenciados. Se almacenan allí hasta su recolección y traslado. El diseño implica definir el tipo de tambor, las distintas corrientes y la cantidad necesaria. Estos serán diferenciados en las cinco corrientes ya descritas. Luego, la recolección y el traslado será hacia Ushuaia o Buenos Aires, como se ha planteado previamente. A continuación se presenta el análisis cualitativo para ambas alternativas.

Tabla 13. Análisis comparativo cualitativo entre las alternativas presentadas para la gestión de residuos.

Factor	Puntaje ponderativo	Relleno sanitario de Ushuaia	CEAMSE
Traslado	3	4	2
Capacidad	4	2	4
Tratamiento diferenciado	5	2	5
Total		30	47

Como se puede ver, la única ventaja del relleno sanitario de Ushuaia es su ubicación, al ser el punto más cercano e involucrar así un menor traslado. Sin embargo, el CEAMSE está mejor preparado para recibir residuos. Considerando ambas cuestiones y observando las puntuaciones de cada opción, se decide elegir al CEAMSE como alternativa superadora.

5. Memoria de Cálculo

5.1. Planta depuradora

En esta sección se detallan los cálculos realizados para el dimensionamiento de las unidades del tren de tratamiento de la planta depuradora, el cual se ha descrito previamente. Para esto, un parámetro fundamental es el caudal de diseño. Dicho caudal se calculará con la siguiente ecuación:

$$Q_m = 0,8 * \text{dotación} * \text{población} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

- Q_m es el caudal medio del efluente cloacal
- dotación es la cantidad de agua potable que reciben las personas
- población es la cantidad de personas para las cuales se diseña la red de agua potable
- 0,8 es el factor de retorno de agua hacia la cloaca

Habiendo relevado la situación en la BACE, se decidió aumentar la dotación de agua, ya que se supo que esta dotación era insuficiente. De esa manera, se estableció un valor de dotación de 50 l/d por persona, lo cual es el promedio mínimo considerado para el

consumo, y se calculó para los momentos de mayor personal habitando la BACE (142 personas). De esta manera, se obtuvo un valor de $Q_m = 0,24 \text{ m}^3/\text{h}$. Ya con esto calculado, se procedió al dimensionamiento de las unidades.

5.1.1. Pretratamiento

5.1.1.1. Desbaste

Una opción para el desbaste es mediante un sistema de rejas finas de tipo automático de acero inoxidable. Para el dimensionamiento, se utilizan los datos ya descritos del efluente cloacal, y a su vez se adoptan los valores necesarios tomando parámetros de referencia de bibliografía.

Para las rejas, se adopta un ancho de barra (w) = 0,015 m, y un espacio entre barras (b) que puede ir entre 0,01 y 0,025 m para barras finas, se elige un $b = 0,01$ m. Luego, se utilizarán rejas rectangulares con bordes agudos, lo que resulta en un factor de forma (β) = 2,42. El ángulo con respecto a la horizontal (θ) puede estar entre 60 y 80°. En este caso, se adopta un ángulo de 80°. Por último, se debe adoptar la velocidad de aproximación (v), que para rejas con limpieza automática debería estar entre 0,6 y 1 m/s.

La pérdida de carga (h_i) es un factor importante a considerar. Una pérdida de carga muy baja puede generar que las rejas no retengan adecuadamente los sólidos grandes y flotantes, mientras que una pérdida de carga muy alta puede provocar que el material retenido sea lavado y arrastrado por el agua forzando las rejas. Se calcula de la siguiente manera:

$$h_i = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{4/3} h_v \text{sen}(\theta) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde h_v es la altura cinética de flujo, y se calcula de la siguiente forma:

$$h_v = \frac{Ac}{Wc} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

- Ac es el área del canal
- Wc es el ancho del canal

El área del canal se obtiene como el cociente del caudal y la velocidad de paso adoptada. Luego, se adopta un ancho de canal, con el cual se obtiene un número de barras y espacios entre barras aproximados, para luego redondear estos números y calcular el ancho efectivo del canal. Luego de iterar las variables, se obtuvo una velocidad de paso más baja de lo recomendado, ya que al tener un caudal bajo la pérdida de carga resultaría

muy baja. Adoptando una velocidad de paso de 0,1 m/s se obtiene un A_c de 0,001 m², y adoptando un ancho de canal de 0,05 m, utilizando la ecuación 2 se obtiene un h_v de 0,01 m. Con esto, utilizando la ecuación 1 se obtuvo una pérdida de carga de 0,1 m, lo cual verifica. La velocidad de paso menor a la recomendada implica una mayor acumulación de sólidos, por lo que se deberá realizar una mayor limpieza.

En cuanto a las rejas, habiendo definido el ancho del canal, el ancho de las barras y la distancia entre las barras, se calculó que se necesitará un sistema con dos barras y tres espacios.

Para dimensionar el canal se debe calcular en primer lugar la altura máxima del nivel de agua, que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$h_{max} = h_v + h_{l50\%} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde $h_{l50\%}$ es la pérdida de carga cuando las rejas están obstruidas al 50%, y se obtiene como el cociente entre la pérdida de carga y un factor de carga (f_c), que para el 50% tiene un valor de 0,5, resultando en un $h_{l50\%} = 0,1$ m y una altura máxima de $h_{max} = 0,12$ m. Luego, se le asigna una revancha (R) al canal como medida de seguridad de 0,2 m, resultando en una altura total del canal (H_c) de 0,32 m. Ya con la altura definida, se puede calcular el largo del canal aguas abajo (L_1), el largo total (L_t) y el largo del canal aguas abajo (L_2), con las siguientes ecuaciones:

$$L_1 = \frac{H_c}{\tan(\theta)} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$L_t = L_1 + 10 h_{max} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$L_2 = L_t - L_1 \quad \text{Ecuación 7}$$

Utilizando los valores obtenidos previamente para H_c , h_{max} y θ , se obtuvieron unos valores de $L_1 = 0,06$ m, $L_t = 1,3$ m y $L_2 = 1,24$ m. Finalmente, se calculó el largo de las barras (L_b) con la siguiente ecuación:

$$L_b = \sqrt{H_c^2 + L_1^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

obteniendo como resultado un $L_b = 0,33$ m.

A continuación se presenta una tabla resumiendo los valores obtenidos para el dimensionamiento del diseño del sistema de rejas.

Tabla 14. Valores del dimensionamiento del sistema de desbaste por rejillas.

REJAS					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rango	Valor	Comentario
Ancho de barra	w	m	0,005 - 0,015	0,015	Adoptado
Espacio entre barras	b	m	0,01- 0,025	0,01	Adoptado
Área de paso del canal	Ac	m	-	0,001	Calculado
Ancho canal	Wc	m	-	0,05	Adoptado
Cantidad de barras	nb	-	-	2	Adoptado
Cantidad de espacios	ne	-	-	3	Adoptado
Altura total canal	Hc	m	-	0,32	Calculado
Largo total del canal	Lt	m	-	1,3	Calculado
Largo barras	Lb	m	-	0,33	Calculado

Sin embargo, puede observarse que los valores obtenidos para las dimensiones del canal, la cantidad de barras y los valores de verificación (tanto velocidad de paso como pérdida de carga) son muy bajos, debido al pequeño caudal a tratar. Por consecuencia, se decide optar por el uso de una canasta. La canasta tendrá unas dimensiones de 40 x 40 x 40 cm, y estará compuesta por una malla de metal desplegable con aberturas verticales y horizontales de 5 cm. Se contará con dos mallas metálicas, a fin de facilitar el mantenimiento, pudiendo remover una malla y colocar la otra sin alterar el funcionamiento de la planta. Esta canasta se colocará dentro del tanque de bombeo ya existente en la BACE, con las bombas sumergibles. Si bien se consideró usar el tamiz rotativo con el que ya cuenta la BACE, no es óptimo para sólidos más gruesos que podría traer el efluente, por lo que podría taponarse (cosa que por conversaciones con el personal de la BACE, sucede).

Según bibliografía, estos sistemas suelen tener un 5% de eficiencia de remoción en SST, y una eficiencia despreciable en términos de DBO₅. Dado que el efluente tiene una carga inicial de 230 mg/l de SST, luego de esta unidad pasará al desengrasador con un valor de SST = 218,5 mg/l. En cuanto a la producción de lodos (SSR), se calculó su producción en términos de kilos por semana mediante la siguiente ecuación:

$$SSR (kg/semana) = SST * Ef * Qsem \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

- SST son los sólidos suspendidos totales de entrada
- Ef es la eficiencia de remoción
- Qsem es el caudal medio de diseño por semana

Reemplazando en la ecuación 9 con los valores conocidos, se obtuvo una producción de lodos de 0,5 kg/semana. Luego, para calcular el volumen de lodos producidos (VI) se utiliza la siguiente expresión:

$$VI = \frac{SSR}{\rho_l * 0,06} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde:

- ρ_l es la densidad de los lodos
- 0,06 es la concentración de sólidos

Considerando una densidad de lodos de 1030 kg/m³, se obtiene un volumen de producción de lodos de 0,01 m³ por semana.

A continuación del sistema de desbaste, el efluente es bombeado hacia a la cámara desengrasadora, la cual se calcula a continuación.

5.1.1.2. Desengrasador

La cámara desengrasadora será un tanque pequeño donde ocurrirá la flotación de la grasa. que sale a la superficie y es retenida, y el agua saldrá por una descarga inferior. Este tipo de diseño no requiere de partes mecánicas. El dimensionamiento se realizó siguiendo los criterios del Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, y la guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.

Utilizando el caudal medio (Qm) conocido de 0,24 m³/h y adoptando un área transversal por cada l/s (Ad) de 1 m², se calculó en primer lugar el área transversal (At) de la cámara con la siguiente ecuación:

$$At = Ad * Qm \quad \text{Ecuación 11}$$

y se obtuvo como resultado un At = 0,07 m². Luego, se adoptó un valor para el ancho de la cámara (W) de 0,25 m. Con esto se obtuvo la altura de lámina de agua (h) con utilizando la siguiente ecuación:

$$h = At * W \quad \text{Ecuación 12}$$

obteniendo un valor de $h = 0,3$ m. Luego se adoptaron valores para la altura de lodos (h_l) y se asignó un valor de revancha (h_r) de 0,3 m y 0,2 m respectivamente, con lo que luego se calculó la altura efectiva de la siguiente manera:

$$h_e = h + h_l + h_r \quad \text{Ecuación 13}$$

obteniendo un valor final para la altura efectiva de la cámara de 0,8 m. A continuación se adoptó un valor para el tiempo de retención hidráulico (TRH) de 30 minutos, ya que el rango típico se encuentra entre 15 y 30 minutos. Con esto se obtuvo el volumen, con la siguiente expresión:

$$V = TRH * Qm \quad \text{Ecuación 14}$$

llegando a un resultado de $V = 0,12$ m³. Finalmente se calculó la longitud de la cámara (l) con la siguiente ecuación:

$$l = \frac{V}{(h+h_l)*W} \quad \text{Ecuación 15}$$

lo que resulta en una longitud de 0,85 m. Finalmente se comprueba que la relación ancho/largo entre dentro de los criterios establecidos. Como se muestra en la tabla 15 presentada a continuación, si bien el valor no se encuentra dentro del rango establecido, se considera que se encuentra lo suficientemente cerca como para validar las dimensiones de la cámara desengrasadora.

Tabla 15. Valores del dimensionamiento de la cámara desengrasadora

Desengrasador					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rango	Valor	Comentario
Ancho de cámara	W	m	≥ 0,25	0,25	Adoptado
Altura efectiva	he	m		0,8	Calculado
Volumen	V	m ³		0,12	Calculado
Longitud de cámara	l	m		0,85	Calculado

El ingreso a la trampa de grasa se hará por medio de un codo de 90° con un diámetro de 75 mm, mientras que la salida será por medio de una "T" con un diámetro también de 75 mm.

En cuanto a la frecuencia de limpieza, será determinada según la observación, realizándose cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo.

Para la remoción, se utilizarán los valores obtenidos por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, donde observaron eficiencias del 5% en DBO₅, 3% en DQO, 10-15% en SST y 85-95% en grasas y aceites. Considerando un 10% para SST y un 85% para las grasas y aceites, a modo de ser conservador, el efluente pasaría a la siguiente unidad de tratamiento con las siguientes características.

Tabla 16. Parámetros del efluente cloacal antes y después de la cámara desengrasadora.

Parámetro	Unidades	Entrada	Eficiencia de remoción	Salida
SST	mg/l	218,5	10,00%	196,7
DBO	mg DBO/l	250	5,00%	237,5
DQO	mg DQO/l	568	3,00%	551,1
Grasas y aceites	mg/l	70	85,00%	10,5

Se puede notar que luego de este tratamiento, el efluente cumple con la normativa de vuelco mencionada previamente en términos de grasas y aceites, la cual establece un límite máximo de 50 mg/l para este parámetro.

En cuanto a los barros generados, utilizando la ecuación 10 se obtuvo un valor de producción de barros de 0,01 m³/semana.

5.1.2. Tratamiento Primario

5.1.2.1. Ecuador

Para el diseño del ecualizador se estimaron valores de caudal para distintas franjas horarias del día, teniendo en cuenta el valor de caudal medio conocido (Q_m) y sabiendo los momentos de menor y mayor uso de agua gracias a entrevistas con personal de bases antárticas (De Iuliis, 2024). Con dichos caudales, se procedió a calcular el volumen de agua real acumulado por hora (V_{ar}), y el volumen de agua promedio acumulado (V_{am}). Luego, se calculó la diferencia entre dichos volúmenes para poder determinar la mayor y la menor variación de volumen en un día (como V_{am} - V_{ar}). El volumen de agua real acumulado por hora se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_{ar} = Qh * \Delta t + V_{h-1} \quad \text{Ecuación 16}$$

donde:

- Q_h es el caudal a tiempo h
- Δt es el intervalo de tiempo del caudal
- V_{h-1} es el volumen acumulado en la hora anterior

El volumen de agua promedio acumulado se calcula de la misma manera, pero el caudal que se utiliza es siempre el caudal medio. Estos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Caudales y volúmenes para el dimensionamiento del equalizador

Ecuador						
Tiempo	Q_h	Δt	Q_m	Var	Vam	ΔV
h	m^3/h	h	m^3/h	m^3	m^3	m^3
0:00	0,15	1,00	0,24	0,15	0,24	0,09
1:00	0,10	1,00	0,24	0,25	0,48	0,23
2:00	0,05	1,00	0,24	0,30	0,73	0,43
3:00	0,05	1,00	0,24	0,35	0,97	0,62
4:00	0,05	1,00	0,24	0,40	1,21	0,81
5:00	0,10	1,00	0,24	0,50	1,45	0,95
6:00	0,20	1,00	0,24	0,70	1,69	0,99
7:00	0,25	1,00	0,24	0,95	1,93	0,98
8:00	0,25	1,00	0,24	1,20	2,18	0,98
9:00	0,30	1,00	0,24	1,50	2,42	0,92
10:00	0,30	1,00	0,24	1,80	2,66	0,86
11:00	0,30	1,00	0,24	2,10	2,90	0,80
12:00	0,35	1,00	0,24	2,45	3,14	0,69
13:00	0,35	1,00	0,24	2,80	3,38	0,58
14:00	0,35	1,00	0,24	3,15	3,63	0,48
15:00	0,30	1,00	0,24	3,45	3,87	0,42

16:00	0,30	1,00	0,24	3,75	4,11	0,36
17:00	0,30	1,00	0,24	4,05	4,35	0,30
18:00	0,30	1,00	0,24	4,35	4,59	0,24
19:00	0,30	1,00	0,24	4,65	4,83	0,18
20:00	0,30	1,00	0,24	4,95	5,08	0,12
21:00	0,30	1,00	0,24	5,25	5,32	0,07
22:00	0,30	1,00	0,24	5,55	5,56	0,01
23:00	0,25	1,00	0,24	5,80	5,80	0,00

Cabe mencionar que los caudales estimados se consideran iguales para todos los días de la semana, ya que las actividades realizadas se efectúan de manera similar los 7 días. De la tabla se obtuvieron valores de 0,99 m³ como variación máxima ($\Delta V_{m\acute{a}x}$) y 0,00 m³ como variación mínima ($\Delta V_{m\acute{i}n}$). Esto se puede ver representado en el siguiente gráfico.

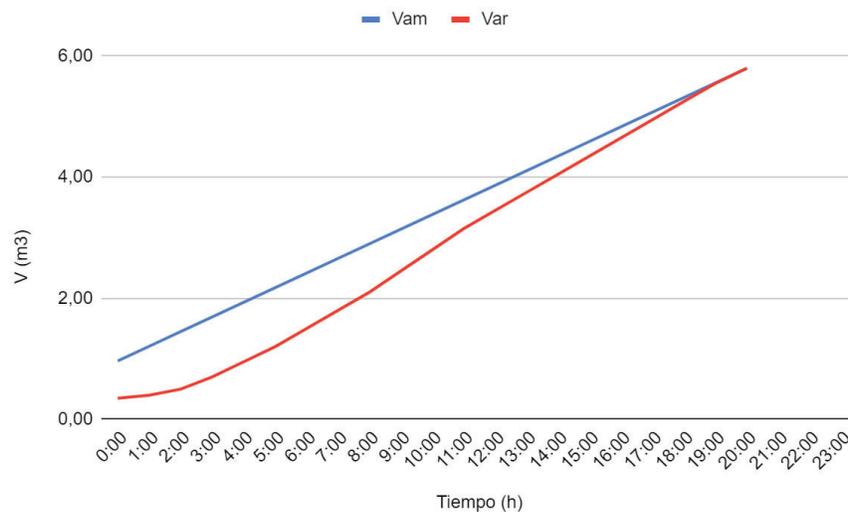


Imagen 15. Evolución del volumen real acumulado (en rojo) y del volumen medio acumulado (en azul) en un día

Fuente: elaboración propia

Con esto, se procedió a calcular el volumen mínimo de diseño ($V_{m\acute{i}n}$) del ecualizador de la siguiente forma:

$$V_{m\acute{i}n} = (\Delta V_{m\acute{a}x} + \Delta V_{m\acute{i}n}) * 1,2 \quad \text{Ecuación 17}$$

donde 1,2 es un factor de seguridad que se considera del 20%. Usando los valores obtenidos y la ecuación 17, se obtuvo un valor de 1,19 m³ para el volumen mínimo de diseño. Partiendo de ese número como base, se decidió adoptar un volumen real de diseño de 1,5 m³, lo que resulta en un tiempo de permanencia de 6,2 horas. Eligiendo una forma cilíndrica y adoptando una altura de 1,5 m, se obtuvieron valores de 1 m² para el área y 1,1 m para el diámetro. Luego, se verificó que el ecualizador (Ve) no rebalse, ni se quede sin volumen. Esto se realizó asignándole un volumen inicial al tanque, y luego calculando el volumen por hora con la siguiente expresión:

$$Ve = V_{h-1} + Qh - Qm \quad \text{Ecuación 18}$$

donde V_{h-1} es el volumen que había en la hora anterior. Para la hora 0 del primer día, este volumen es el que se asignó como volumen inicial, que se definió un valor de 1,3 m³. Estos resultados se muestran a continuación.

Tabla 18. Verificación del volumen del ecualizador

Hora	Ve
h	m ³
0:00	1,21
1:00	1,07
2:00	0,88
3:00	0,68
4:00	0,49
5:00	0,35
6:00	0,31
7:00	0,32
8:00	0,33
9:00	0,38
10:00	0,44
11:00	0,50
12:00	0,61

13:00	0,72
14:00	0,83
15:00	0,88
16:00	0,94
17:00	1,00
18:00	1,06
19:00	1,12
20:00	1,18
21:00	1,23
22:00	1,29
23:00	1,30

Como se puede ver en la tabla, el ecualizador alcanza un valor mínimo de $0,31 \text{ m}^3$ y un valor máximo de $1,3 \text{ m}^3$, por lo que se comprueba que nunca rebalsa y nunca se queda vacío.

Por último, se debe garantizar la mezcla del tanque para asegurar la homogeneización. Para una mezcla adecuada se consideró un requerimiento de aire de $0,037 \text{ m}^3 \text{ O}_2/\text{m}^2 \text{ tanque} \cdot \text{min}$. Por ende, el caudal total necesario sabiendo el área del ecualizador es de $2,22 \text{ m}^3 \text{ O}_2/\text{h}$. Para cubrir esta demanda, se instalará un aireador sumergible de la marca Tsurumi, modelo 32TRN2.75, cuyas especificaciones se muestran en el Anexo II. A continuación se resumen las especificaciones del tanque dimensionado.

Tabla 19. Valores del dimensionamiento del ecualizador

Ecualizador				
Parámetro	Referencia	Unidades	Valor	Comentario
Volumen	V	m^3	1,5	Calculado
Altura	H	m	1,5	Adoptado
Área	A	m^2	1	Calculado
Diámetro	D	m	1,1	Calculado

A continuación del ecualizador, el efluente pasa al tratamiento secundario ya con un caudal constante de $0,24 \text{ m}^3/\text{d}$ regulado por bombeo.

5.1.3. Tratamiento secundario

5.1.3.1. Lodos activos

El tratamiento secundario será realizado con un sistema de lodos activos de mezcla completa. Para el diseño del reactor de tratamiento biológico por lodos activados, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- La mezcla en el reactor es completa, por lo que la concentración de los parámetros es homogénea en todos los puntos
- Los microorganismos siguen el comportamiento de crecimiento de la cinética de Monod de primer orden
- El sistema se encuentra en estado estacionario, de manera que no ocurren cambios en las concentraciones en el tiempo

Con esta unidad se busca cumplir con los parámetros de vuelco, siendo el tratamiento donde mayor remoción de carga orgánica hay. A continuación se presenta un esquema detallado del proceso junto a los parámetros de interés que se tendrán en cuenta para los cálculos y el dimensionamiento:

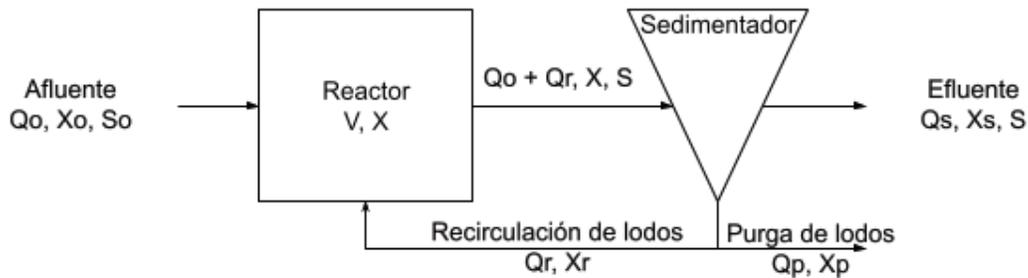


Imagen 16. Esquema de lodos activos + sedimentador secundario junto a las variables fisicoquímicas de interés.

Fuente: elaboración propia.

donde:

- Q_o es el caudal de ingreso
- X_o es la concentración de microorganismos de ingreso
- S_o es la concentración de sustrato de ingreso
- V es el volumen del reactor

- X es la concentración de microorganismos en el reactor
- Qr es el caudal de recirculación
- Xr es la concentración de microorganismos de recirculación
- Qp es el caudal de purga
- Xp es la concentración de microorganismos de purga (que es igual a la concentración de microorganismos en la recirculación)
- Qs es el caudal de salida
- Xs es la concentración de microorganismos en la salida
- S es la concentración de sustrato en el reactor y en la salida

Para el dimensionamiento del volumen del reactor se van a seguir los lineamiento de ENOHSA para efluentes cloacales, utilizando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Y\theta_c Q_o(S_o - S)}{X(K_d\theta_c + 1)} \quad \text{Ecuación 19}$$

donde:

- Y es el rendimiento, visto como la relación entre la masa de microorganismos formados y el sustrato consumido
- θ_c es el tiempo de retención celular
- Kd es la constante de descomposición

Considerando una eficiencia (Ef) del 90% se obtuvo una S = 23,75 mg DBO/l, cumpliendo con el límite máximo permitido de vuelco relevado (el cual era de 50 mg/l), y adoptado valores de Y = 0,6 mg SSV/mg DBO, un $\theta_c = 5$ d y una Kd = 0,06 d⁻¹ y X = 3000 mg SSV/l (los valores de referencia fueron tomados de Metcalf & Eddy), se obtuvo un volumen de 0,95 m³ para el reactor. Luego, se adoptó una altura de 1 m y con esto se calculó el diámetro (D) y el área (A), dando como resultados un D = 1,1 m y un A = 0,95 m. Una vez obtenido el volumen, se calculó el tiempo de retención hidráulico (TRH) como el cociente entre el volumen y el caudal de ingreso, obteniendo un valor de TRH = 3,9 h, lo cual entra dentro del rango establecido para un reactor de mezcla completa de lodos activos, cuyos valores posibles van de 3 a 5 horas.

Luego, haciendo un balance de masa teniendo en cuenta las consideraciones hechas, se procedió a calcular el caudal de purga bajo la siguiente ecuación:

$$Qp = \frac{V}{Xr} \left(\frac{\mu_m X S}{K_s + S} - K_d X \right) \quad \text{Ecuación 20}$$

donde:

- μ_m es la tasa de crecimiento específico máximo
- K_s es la constante de saturación media
- K_d es la constante de descomposición

Utilizando la bibliografía mencionada, se eligieron valores de $\mu_m = 0,5 \text{ h}^{-1}$, $K_s = 50 \text{ mg DBO/l}$ y $K_d = 0,06 \text{ d}^{-1}$. Con estos valores, se llegó a un $Q_p = 1,55 \text{ m}^3/\text{d}$. A continuación, se calculó el Q_s como la diferencia entre Q_o y Q_p , que surge del balance de caudales, dando como resultado un $Q_s = 4,25 \text{ m}^3$. Siguiendo a esto se calculó el Q_r , que de los balances se llegó a la siguiente ecuación para su cálculo:

$$Q_r = \frac{Q_o X - Q_p X_r}{X_r - X} \quad \text{Ecuación 21}$$

donde se adoptó un valor de $X_r = 7000 \text{ mg SSV/l}$, y de esta manera se obtuvo un $Q_r = 1,63 \text{ m}^3/\text{d}$.

Una vez obtenidos todos los valores del sistema, se calcularon parámetros de control para corroborar el correcto diseño y dimensionamiento, verificando que tengan valores dentro del rango de lo establecido para este tipo de sistema. En primer lugar, se calculó el factor de relación entre el alimento y los microorganismos (F/M), donde un valor bajo indica que hay poco para degradar y muchos SSV, y un valor alto indica que hay mucho para degradar y pocos SSV. Esto se calculó con la siguiente expresión:

$$F/M = \frac{Q_o S_o}{V X} \quad \text{Ecuación 22}$$

obteniendo un valor de $0,48 \text{ mg DBO/mg SSV} \cdot \text{d}$, valor que verifica ya que para un reactor de mezcla completa tiene que estar entre $0,2$ y $0,6 \text{ mg DBO/mg SSV} \cdot \text{d}$. Otro parámetro fue la relación entre Q_r y Q_o , cuyo valor debe estar comprendido entre $0,25$ y 1 para este sistema, y se obtuvo un resultado de $0,28$, verificando también este parámetro. Por último, se calculó la carga volumétrica (COV) con la siguiente expresión:

$$COV = \frac{Q_r S + Q_o S_o}{V} \quad \text{Ecuación 23}$$

arrojando un valor de $1,5 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{d}$, lo cual también verifica ya que debe encontrarse entre $0,8$ y $2 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{d}$. Entonces, las dimensiones obtenidas son las siguientes.

Tabla 20. Valores del dimensionamiento del reactor de mezcla completa de lodos activos

Lodos activados					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Referencia
Volumen del reactor	V	m ³		0,95	Calculado
Altura del reactor	h	m		1	Adoptado
Diámetro del reactor	D	m		1,10	Calculado
Área del reactor	A	m ²		0,95	Calculado

Ya con las dimensiones definidas, se procedió a diseñar el sistema de aireación. Para esto, se determinó el requerimiento de oxígeno (RO) con la siguiente ecuación:

$$RO = \frac{Qo(So-S)}{f*1000} - 1,42 * Px * \frac{Qo(So-S)}{1000} \quad \text{Ecuación 24}$$

donde:

- f es un factor de conversión
- Px es la producción de lodos, que se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Px = \frac{Y}{1+\theta c^*Kd} \quad \text{Ecuación 25}$$

donde se obtuvo un valor de Px = 0,46 kg/d (lo que equivale a 7,5 m³/d y 52,5 m³/semana, utilizando la ecuación 10). Con esto, y adoptando un valor de f = 0,65, se llegó como resultado a un RO = 1,09 kg O₂/d. Luego, se calculó el requerimiento de oxígeno estándar (SOR), bajo la siguiente fórmula:

$$SOR = \frac{RO}{\frac{\beta(Cw-LD)}{Cs} - 1,024^{(T-20)} \alpha} \quad \text{Ecuación 26}$$

donde:

- β es un factor de corrección por salinidad y tensión superficial
- Cw es la concentración de saturación de oxígeno disuelto (OD) para el agua residual
- Cl es la concentración de OD en condiciones de funcionamiento
- Cs es la concentración de O₂ saturado en agua limpia
- T es la temperatura del agua
- α es un factor de conversión de la transferencia de O₂

utilizando valores de bibliografía teniendo en cuenta las condiciones de la zona (los cuales se detallan a continuación), se llegó a un valor de $SOR = 1,70 \text{ kg O}_2/\text{d}$. Para satisfacer esta demanda, se instalará un aireador sumergible de la marca Tsurumi, modelo 32TRN2.75, cuyas especificaciones se describen en el Anexo II.

5.1.3.2. Sedimentador secundario

Luego de pasar por el reactor de lodos activos, el efluente pasa al sedimentador secundario, donde el efluente se separa de los lodos generados por sedimentación, los cuales son en parte recirculados y en arte purgados y transferidos al tratamiento de lodos.

El sedimentador secundario será de forma rectangular debido a que es de más simple construcción, y tendrá cuatro zonas: la zona de entrada (placa de orificios), la zona de sedimentación, la zona de salida (vertedero) y la zona de lodos (tolva). Estas zonas se calcularon de la siguiente forma.

Zona de sedimentación

En primer lugar, se consideró una carga superficial (C_s) baja, ya que según las especificaciones detalladas en Metcalf & Eddy, el efluente luego del reactor de lodos activos con mezcla completa tiene una carga superficial de entre 16 y $32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, por lo que se estableció de $16 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Con esto se calculó el área (A_{sed}), como el cociente entre el caudal medio y la carga superficial, resultando en un área de $0,36 \text{ m}^2$. Luego, se debe verificar que el área calculada con el caudal de diseño (Q_o) verifique la Carga de sólidos (C_s), la cual en este caso se calcula como el cociente entre $Q_o + Q_r$ y el área de diseño (donde Q_r es el caudal de recirculación calculado en la sección anterior).

Luego, se adoptó una relación largo/ancho de 2 y se obtuvieron valores de $0,43 \text{ m}$ y $0,85 \text{ m}$ para el largo (L_{sed}) y el ancho (W_{sed}), respectivamente. Para facilitar el diseño, se adoptaron valores de $L_{sed} = 0,45 \text{ m}$ y $W_{sed} = 0,9 \text{ m}$, resultando en un $A_{sed} = 0,41 \text{ m}^2$. Con esto, se obtuvo una carga superficial de diseño de $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, verificando que cumpla con el rango establecido. Luego, se adoptó un tiempo de permanencia (T_p) de 100 minutos, y multiplicando por el caudal medio se obtuvo un volumen (V_{sed}) de $0,4 \text{ m}^3$. Luego, se calculó la profundidad del área de sedimentación (H_{sed}), obteniendo un valor de $1,0 \text{ m}$. De esta manera, la zona de sedimentación tiene las siguientes especificaciones.

Tabla 21. Valores del dimensionamiento de la zona de sedimentación del sedimentador secundario

Sedimentador secundario					
Zona de sedimentación					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Ancho	Wsed	m	-	0,45	Adoptado
Largo	Lsed	m	-	0,9	Adoptado
Altura de sedimentación	Hsed	m	-	1,0	Calculado

Zona de entrada

El efluente ingresa por una placa de orificios. Se definió un diámetro (D_o) de 0,01 m para los orificios, y se estableció una velocidad de paso por los orificios (v_o) de 0,14 m/s. Con esto, se calculó el caudal que fluirá por los orificios (Q_o) con la siguiente expresión:

$$Q_o = \Pi * \left(\frac{D_o}{2}\right)^2 * v_o \quad \text{Ecuación 27}$$

donde reemplazando con los valores obtenidos se llegó a un $Q_o = 0,04 \text{ m}^3/\text{h}$. Con este valor se calculó la cantidad de orificios necesarios (N_o), como el cociente entre el caudal de diseño (Q_m) y Q_o , obteniendo como resultado la necesidad de 8 orificios. Luego, se calculó la altura de la placa (H_p), sabiendo que tiene que ser aproximadamente el 60% de la altura de la zona de sedimentación. De esta forma, se obtuvo una $H_p = 0,6 \text{ m}$. El ancho de la placa (W_p) se definió como el ancho de la zona de sedimentación, con un valor de 0,5 m. Luego, adoptando una separación vertical (a) de 0,14 m y una separación horizontal (b) de 0,14 m entre los orificios, se logró disponer a los mismos en dos columnas (N_c) de cuatro filas cada una (N_f). De esta forma, la zona de entrada tiene las siguientes características.

Tabla 22. Valores del dimensionamiento de la zona de entrada del sedimentador secundario

Sedimentador secundario					
Zona de entrada (Placa de orificios)					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Cantidad de orificios	No	-	-	8	Calculado

Altura de placa	Hp	m	-	0,6	Calculado
Ancho de placa	Wp	m	-	0,5	Adoptado
Separación vertical entre orificios	a	m	-	0,14	Adoptado
Separación horizontal entre orificios	b	m	-	0,14	Adoptado
Orificios por columna	Nc	-	-	4	Calculado
Orificios por fila	Nf	-	-	2	Calculado

Zona de lodos

La zona de lodos será una tolva sin el uso de un barredor, por lo que se asigna un ángulo de inclinación (θ) de 60° . Para el dimensionamiento, al ancho superior (Wts) se le asignó un tercio del largo de la zona de sedimentación, es decir, 0,33 m. Luego, se adoptó un tiempo de descarga (t_d) de 0,5 h, y se calculó la sección de descarga (Sd) con la siguiente ecuación:

$$Sd = \frac{A_{sed}}{4850 \cdot t_d} \sqrt{H_{sed}} \quad \text{Ecuación 28}$$

obteniendo como resultado una $Sd = 0,00017 \text{ m}^2$. Sin embargo, esto resultaría en un ancho inferior de la tolva (Wti) demasiado chico, por lo que se decidió adoptar un Wti de 0,1 m, y con esto se determinó el valor de la altura de la tolva (Ht) mediante la expresión:

$$Ht = \frac{Wts - Wti}{2} \tan(\theta) \quad \text{Ecuación 29}$$

llegando a un valor de $Ht = 0,20 \text{ m}$. Entonces, la tolva queda con las siguientes dimensiones.

Tabla 23. Valores del dimensionamiento de la zona de lodos del sedimentador secundario

Sedimentador secundario					
Zona de lodos (Tolva)					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Ángulo de inclinación	θ	$^\circ$	-	60	Adoptado
Ancho superior de la tolva	Wts	m	-	0,33	Calculado
Ancho inferior de la tolva	Wti	m	-	0,10	Adoptado

Altura de la tolva	Ht	m	-	0,20	Calculado
--------------------	----	---	---	------	-----------

Zona de salida

La zona de salida será mediante vertederos del tipo Thompson. Para diseñar la zona de salida, se definió una altura de pelo de agua (Hl) de 2 cm, que es la menor altura posible cuando se trata de caudales chicos. Con esto, se calculó el caudal unitario (Qu) con la siguiente expresión:

$$Qu = 1,34 Hl^{2,47} \quad \text{Ecuación 30}$$

obteniendo un valor de $Qu = 0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$. Luego, haciendo el cociente entre el caudal de diseño y Qu se obtuvo la cantidad de vertederos necesarios (N), siendo igual a 1. Debido a que el vertedero se ubica en las paredes del canal, debe haber como mínimo 2, para no alterar el flujo del agua. Entonces, definiendo un $N = 2$, se volvió a calcular el Qu y con este se recalculó la Hl, obteniendo un valor de $Hl = 1,2 \text{ cm}$. Si bien queda por debajo de lo recomendado, se considera que es un valor relativamente cercano, y de esta manera se cumple con la cantidad mínima de vertederos. Para la altura total del vertedero (Hv), se estableció una relación de 2:1 con Hl, siendo de 0,024 m. Luego, se calculó el ancho del vertedero (Wv), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Wv = 2 * \tan(\Pi/4) * Hv \quad \text{Ecuación 31}$$

dando como resultado un $Wv = 0,05 \text{ m}$. Entonces, el largo útil (Lu) de los vertederos equivale a 0,1 m, siendo el producto entre Wv y N. Finalmente, se decidió ubicar a los vertederos en la pared de salida en vez de disponerlos en canales, debido a la poca cantidad de vertederos. De esta manera, la zona de salida quedó con la siguiente configuración.

Tabla 24. Valores del dimensionamiento de la zona de salida del sedimentador secundario

Sedimentador secundario					
Zona de salida (Vertedero)					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Número de vertederos diseño	N	-	> 1	2	Adoptado
Altura total	Hv	m	-	0,024	Adoptado
Ancho del vertedero	Wv	m	-	0,05	Calculado

Largo útil	Lu	m	-	0,10	Calculado
-------------------	-----------	---	---	------	-----------

Según bibliografía, los sedimentadores secundarios tienen un 90% de eficiencia de remoción de SST. Sabiendo que en el reactor hay una concentración de 3000 mg SSV/l, se puede estimar la concentración de SST, considerando una relación de SSV/SST de 0,8. De esta forma, la concentración de SST en el reactor es de 3750 mg SST/l, por lo que el efluente sale con un valor de SST = 375 mg/l. Utilizando las ecuaciones 9 y 10, se estimó una producción de lodos de 3,57 kg/semana, equivalentes a 0,06 m³ semanales.

A la salida del sedimentador secundario, el efluente pasa a la siguiente y última unidad de tratamiento, el filtro de carbón activado.

5.1.4. Tratamiento terciario

5.1.4.1. Filtro de Carbón activado

Para el diseño del filtro de carbón activado es necesario saber el caudal a tratar, y el área filtrante. Luego, se calcula velocidad de filtrado (v_f), cuyo rango depende de si es una baja o alta filtración, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_f = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 32}$$

donde Q es el caudal de salida del sedimentador secundario, que equivale a 4,25 m³/d.

Debido a que el caudal de tratamiento es bajo, se optó por la compra de un filtro de carbón activado comercial de baja velocidad, de la marca Enviro Tecnics, donde se cuenta con distintos modelos que varían en dimensiones y capacidades de filtrado. Para determinar cuál es el que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, se tiene en cuenta que estos filtros están preparados para velocidades de filtrado menores a 10 m/h. Las especificaciones técnicas de las opciones de filtro se adjuntan en el Anexo III, eligiendo el filtro de modelo FAV1, el cual tiene un área de filtrado de 0,096 m², resultando en una velocidad de filtrado de 1,84 m/h. Las dimensiones de interés del filtro se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 25. Valores de las dimensiones del filtro de carbón activado.

Filtro de Carbón Activado Granular					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario

Área filtrante	A	m ²	0,096 - 1,54	0,096	Adoptado
Diámetro	D	m	-	0,35	Dato
Altura total	H	m	-	0,645	Dato
Altura del lecho filtrante	I	m	-	0,315	Dato

Para verificar que el efluente cumpla con las normativas de vuelco relevadas, se calcularon las concentraciones de salida de los CE y de los coliformes totales considerando las eficiencias de remoción mencionadas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 26. Valores de remoción del filtro de carbón activado

Parámetro	Unidades	Valor permitido	Entrada	Eficiencia de remoción	Salida
Paracetamol	µg/l	< 0,01	0,19	90,00%	0,019
Diclofenac	µg/l	< 0,01	0,15	90,00%	0,015
Ibuprofeno	µg/l	< 0,01	0,10	90,00%	0,010
SST	mg/l	-	375	99,00%	4
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 2000	5000	50,00%	2.500

Como se puede ver, considerando una eficiencia de remoción del 90% no se llega a los valores deseados en términos de CE. Además, tampoco se alcanza el valor deseado en términos de coliformes totales. Por ende, se reafirma la necesidad de la cámara de luz UV a continuación de esta unidad.

5.1.4.2. Cámara de luz UV

Para finalizar el tratamiento terciario se efectuará mediante luz ultravioleta, con la utilización de un reactor de contacto cerrado, en el cual las lámparas de UV se encuentran sumergidas en el agua a tratar, que fluye a través del reactor como si fuese un canal. En este se busca reducir la carga de coliformes totales y de los contaminantes emergentes mencionados.

La lámpara seleccionada es la lámpara de mercurio de baja presión de Pen-Ray, modelo 90-0012-01, de 25 W. Esta lámpara va protegida con una vaina de cuarzo, que deja

pasar la radiación de la longitud de onda deseada (254 nm). Las dimensiones son de 52 cm de largo y 1 cm de diámetro, y la intensidad que puede entregar (I_0) se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{\pi * d * L} \quad \text{Ecuación 33}$$

donde:

- P es la potencia de la lámpara
- d es el diámetro de la lámpara
- L es el largo de la lámpara

obteniendo entonces una $I_0 = 153 \text{ mW/cm}^2$. Estas lámparas tienen un caudal máximo de tratamiento de $6 \text{ m}^3/\text{d}$ y tienen una vida útil de 9000 h (es decir, más de un año), por lo que deberán ser cambiadas anualmente. Además, requieren de una concentración de SST en el agua a tratar menor a 10 mg/l , condición con la cual el agua a tratar cumple al ingresar a esta etapa del tren de tratamiento.

Luego, para dimensionar el reactor se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = v \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad \text{Ecuación 34}$$

donde:

- Q es el caudal a tratar
- v es la velocidad de flujo del agua
- D es el diámetro del reactor

La velocidad de flujo óptima para tratamiento por luz UV está comprendida entre 0,1 y 0,3 m/s, y la profundidad máxima debe ser de 7,5 cm, por lo que el diámetro del reactor debe ser menor a 0,15 m. (Lema, 2021). Entonces, adoptando una velocidad de 0,2 m/s y despejando D de la ecuación 34, se obtuvo un $D = 0,09 \text{ m}$, lo cual verifica que sea menor a 0,15 m. Luego, se verificó que la intensidad sea apropiada en el punto más lejano del reactor, según la siguiente ecuación:

$$I = I_0 * 10^{-a*d} \quad \text{Ecuación 35}$$

donde:

- I es la intensidad a una distancia dada
- a es la absorbancia del agua a una longitud de onda dada
- d es la distancia recorrida por la luz

Considerando la absorbancia del agua a una longitud de onda de 254 nm, que equivale a $0,02 \text{ cm}^{-1}$, y una distancia máxima de 4 cm (dada por el radio del reactor menos

el radio de la lámpara), se obtuvo una $I = 128 \text{ mW/cm}^2$. Este valor supera ampliamente los valores mínimos obtenidos por De La Cruz Gonzalez, 2013 y Lema, 2021 de intensidad requerida para asegurar la remoción de patógenos (donde encontraron valores mínimos de 35 mW/cm^2).

A continuación se calculó el largo del reactor (L), bajo la siguiente ecuación:

$$t = \frac{L}{v} \quad \text{Ecuación 36}$$

donde t es el tiempo de exposición, el cual según los estudios relevados debe ser mayor a 3 segundos para asegurar la remoción de patógenos. De esta forma, adoptando un tiempo de 3,5 segundos y despejando L de la ecuación 36, se obtuvo un $L = 0,7 \text{ m}$. Finalmente, se corroboró que la dosis (D) cumpla con el mínimo valor encontrado por De La Cruz Gonzalez, de $6,68 \text{ mWs/cm}^2$, con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{P}{A} t \quad \text{Ecuación 37}$$

donde A es el área de exposición, la cual se calcula como el producto entre el largo y el diámetro de la cámara. Entonces, $A = 0,06 \text{ m}^2$, y esto resulta en una $D = 143 \text{ mWs/cm}^2$, la cual satisface las necesidades. En conclusión, las dimensiones de la cámara de luz UV son las siguientes.

Tabla 27. Valores del dimensionamiento de la cámara de luz UV.

Cámara de luz UV					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Diámetro lámpara	DI	cm	-	1	Dato
Altura lámpara	HI	cm	-	52	Dato
Diámetro de cámara	D	m	< 0,15	0,09	Calculado
Largo de cámara	L	m	-	0,7	Calculado

Ya con las dimensiones de la cámara definidas, se calcularon los valores para los parámetros de salida de CE y coliformes, considerando eficiencias de remoción del 90% para ambos casos. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 28. Valores de remoción de CE y coliformes de la cámara de luz UV.

Parámetro	Unidades	Valor permitido	Entrada	Eficiencia de remoción	Salida
-----------	----------	-----------------	---------	------------------------	--------

Paracetamol	µg/l	< 0,01	0,019	90,00%	0,002
Diclofenac	µg/l	< 0,01	0,015	90,00%	0,002
Ibuprofeno	µg/l	< 0,01	0,010	90,00%	0,001
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 2000	2.500	90,00%	250

Como se puede ver, todos los valores entran dentro del rango establecido por normativa.

Cabe recordar que a continuación de esta unidad, parte del efluente es volcado, mientras que la otra parte es redistribuida hacia las casas (Q_R). Para calcular esto, primero se determinó el caudal de agua que consumen las casas que puede ser abastecido por agua tratada. Utilizando los datos descritos en la sección 2.2.8. Usos y la dotación definida, su cálculo surge de la siguiente ecuación:

$$Q_R = \text{dotación} * \text{población} * 0,22 \quad \text{Ecuación 38}$$

donde el 0,22 surge de que el 22% del agua consumida se destina para los baños, que es el agua que se consideró que no debe ser potable y puede ser agua tratada. Así, se obtuvo un valor de $Q_R = 1,6 \text{ m}^3/\text{d}$, lo que equivale a un 37% de ahorro de agua. Este valor coincide con lo establecido en bibliografía, donde se habían encontrado valores de 40% de ahorro de agua en casos de reuso. Esto será almacenado en un tanque de almacenamiento de 1,0 m (ancho) x 1,0 m (largo) x 1,0 m (alto) de dimensiones, para luego ser bombeado hacia las casas. De esta manera, el caudal que se vuelca (Q_v) es la diferencia entre el caudal de salida del sistema de lodos activos calculado previamente (Q_t) y Q_R , siendo entonces $Q_v = 2,68 \text{ m}^3/\text{d}$. A modo de seguridad en caso que la planta presente alguna falla y se considere que el efluente tratado no es apto para reuso, se contará con un sistema de válvulas que permita cortar el recirculado y volcar todo el efluente. Además, este sistema permitirá restringir el vuelco, por si se considera necesario o por si a futuro se le encuentra otro uso al agua y se pueda reutilizar en mayor proporción.

Como se ve en la tabla, todos los parámetros cumplen con los valores máximos permitidos. De esta forma, el efluente finalmente es vertido al chorrillo Prasiola para luego desembocar en el mar.

5.2. Planta potabilizadora

El diseño de la planta potabilizadora consiste en un tratamiento primario, compuesto por los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, y un tratamiento terciario, siendo el método elegido la desinfección por cloración. Para diseñar estas unidades, en primer lugar se calculó el caudal necesario para abastecer a los establecimientos (Q_m), con el cual se diseñó la planta y se dimensionaron los equipos. Esto se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$Q_m = \text{dotación} * \text{población} - Q_R \quad \text{Ecuación 39}$$

donde la dotación y la población han sido ya establecidas, y Q_R es el caudal redistribuido de la planta depuradora que se recupera y se utiliza para abastecer a los baños de las casas, que se calculó en la sección 5.1.3.2 Sedimentador secundario. Entonces, con una dotación de 50 l/d por persona, y una población de 142 personas y un $Q_R = 1,6 \text{ m}^3/\text{d}$, se obtuvo un $Q_m = 5,54 \text{ m}^3/\text{d}$. Este es el caudal de agua que debe ser bombeado desde el lago y tratado en la planta, la cual se detalla a continuación.

5.2.1. Tratamiento primario

5.2.1.1. Coagulación

En primer lugar, se diseñó un tanque de coagulación de forma cilíndrica de mezcla rápida, con paletas del tipo 1, flujo radial y 6 láminas. Para esto, se calculó el volumen (V) con la siguiente ecuación:

$$V = Q_m * t \quad \text{Ecuación 40}$$

donde t es el tiempo de mezcla, el cual puede estar entre 30 y 180 segundos. Adoptando un $t = 180 \text{ s}$, se obtuvo un $V = 0,012 \text{ m}^3$. Luego, se adoptó una altura (H) de 0,25 m y se obtuvo un área superficial (A) de $0,05 \text{ m}^2$ y un diámetro de la cámara (D_t) de 0,24 m. Se verificó que se esté cumpliendo la siguiente relación:

$$1 \leq H/D_t \leq 1,2$$

donde utilizando los valores obtenidos, se obtuvo un $H/D_t = 1,03$, lo cual verifica que se cumpla la relación.

A continuación, se procedió a calcular los valores para el diseño del mezclador teniendo en cuenta que se deben cumplir las siguientes relaciones:

$$2,7 \leq Dt/D \leq 3,3$$

$$0,75 \leq h/D \leq 1,3$$

$$2,7 \leq H/D \leq 3,9$$

donde:

- D es el diámetro de la paleta mezcladora
- h es la altura desde el fondo hasta la paleta

Eligiendo una relación de $Dt/D = 3$, se obtuvo un $D = 0,08$ m. Esto resultó en una relación $H/D = 3,09$, lo cual también verifica que cumpla. Por último, se estableció una relación de $h/D = 1$, resultando en un $h = 0,08$ m. Luego, se calcularon el resto de los parámetros siguiendo los criterios establecidos para este tipo de paletas, los cuales se muestran a continuación:

- Largo de paleta (B) = $D/4$
- Ancho de paleta (W) = $D/5$
- Ancho de baffle (L) = $Dt/10$

obteniendo entonces un $B = 0,02$ m, un $W = 0,016$ m y un $L = 0,024$ m.

Por último, se calculó la potencia (P) requerida para la mezcla, despejando P de la siguiente expresión:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}} \quad \text{Ecuación 41}$$

donde:

- G es el gradiente de velocidad
- μ es la viscosidad del agua

Sabiendo que el valor de G debe estar comprendido entre 300 y 1200 s^{-1} , se definió un $G = 300 \text{ s}^{-1}$. Se verificó que el parámetro $G*t$ cumpla con los valores establecidos por bibliografía, debiendo estar comprendido entre 300 y 1200 o ser mayor a 3000 . Con los valores definidos, se obtuvo un valor de 54000 para este parámetro, cumpliendo al ser mayor a 3000 . Con esto, y sabiendo que la viscosidad del agua a la temperatura de trabajo es de $0,001009 \text{ kg/m.s}$, se obtuvo una $P = 1 \text{ W}$. Finalmente, se calcularon las revoluciones

por segundo (n) para saber la velocidad de rotación de la turbina, mediante la siguiente ecuación:

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{K \cdot \rho \cdot D^5}} \quad \text{Ecuación 42}$$

donde:

- K es el número de potencia de la turbina
- ρ es la densidad del agua

Para el tipo de turbina elegida, K tiene un valor de 5. Luego, sabiendo que la densidad del agua es de 997,8 kg/m³, y con los valores obtenidos de P y D, se obtuvo un n = 3,94 rps, lo que equivale a 236 rpm. Para mezcla rápida, el valor de rpm debe estar entre 100 y 350, por lo que el valor obtenido cumple con este requisito. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 29. Valores del dimensionamiento del tanque de coagulación

Coagulación					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rango	Valor	Comentario
Volumen de la cámara	V	m ³	-	0,012	Calculado
Altura de la cámara	H	m	-	0,25	Adoptado
Área superficial	A	m ²	-	0,05	Calculado
Diámetro de la cámara	Dt	m	-	0,24	Calculado
Diámetro de la paleta mezcladora	D	m	-	0,08	Calculado
Altura desde el fondo hasta la paleta	h	m	-	0,08	Calculado
Largo de las paletas	B	m	-	0,02	Calculado
Ancho de las paletas	W	m	-	0,016	Calculado
Ancho de bafle	L	m	-	0,024	Calculado

Como se puede ver, el tamaño del tanque es muy pequeño debido al tan bajo caudal que se debe tratar. Por este motivo, se consideró como alternativa la utilización de un

mezclador estático a instalar en la cañería, que consiste en una carcasa tubular con elementos fijos en el interior que generan una perturbación en el efluente, generando la mezcla del mismo con el coagulante a añadir. Estos serán comerciales prefabricados, obtenidos de la marca Verder Liquids, modelo Verdermix VMW Series. Sus características se detallan en el Anexo IV.

La dosificación de coagulante se hará mediante una bomba dosificadora de la marca Grundfos. Para la dosis, se recomienda hacer ensayos de Jar-Test periódicamente, y se utilizará cloruro férrico como coagulante.

5.2.1.2. Floculación

El tanque de floculación se diseñó siguiendo el mismo procedimiento realizado para el diseño del tanque de coagulación, con la diferencia de que en este caso, hay criterios diferentes y se adoptan distintos parámetros. En primer lugar, el tanque tendrá forma cilíndrica, pero con paletas del tipo 6, flujo axial y 6 láminas.

El tiempo de permanencia en este proceso debe estar entre 20 y 60 minutos, y se eligió un valor de 60 minutos. Con esto, y utilizando la ecuación 37, se obtuvo un volumen para el tanque de floculación de $V = 0,2 \text{ m}^3$. Definiendo una altura de 0,7 m, se obtuvo un área superficial de $0,3 \text{ m}^2$ y un diámetro de la cámara de 0,65 m. En este caso, también se debe cumplir con la siguiente relación:

$$1 \leq H/Dt \leq 1,2$$

donde utilizando los valores obtenidos, se obtuvo un $H/Dt = 1,08$, verificando que se cumplió con la relación.

Luego, las relaciones a cumplir para el diseño del mezclador en este proceso varían con respecto a la coagulación, y son las siguientes:

$$2 \leq Dt/D \leq 6,6$$

$$0,9 \leq h/D \leq 1,1$$

$$2,7 \leq H/D \leq 3,9$$

El resto de los parámetros se calcularon siguiendo los criterios establecidos para este tipo de paletas, los cuales se muestran a continuación:

- Largo de paleta (B) = D/4
- Ancho de paleta (W) = D/8
- Ancho de baffle (L) = Dt/11

Finalmente, la potencia se calculó estableciendo un valor de $G = 25 \text{ s}^{-1}$, ya que para este proceso de estar entre los valores 10 a 70 s^{-1} . El parámetro $G \cdot t$ debe caer dentro del rango de 10000 - 100000, y con los valores mencionados se obtuvo un valor de $G \cdot t = 90000$, cumpliendo con el rango establecido. Las revoluciones se calcularon sabiendo que K tiene un valor de 1 para este tipo de turbina. Todos los valores obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 30. Valores del dimensionamiento del tanque de floculación

Floculación					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rango	Valor	Comentario
Volumen de la cámara	V	m ³	-	0,2	Calculado
Altura de la cámara	H	m	-	0,7	Adoptado
Área superficial	A	m ²	-	0,3	Calculado
Diámetro de la cámara	Dt	m ³	-	0,65	Calculado
Diámetro de la paleta mezcladora	D	m	-	0,25	Calculado
Altura desde el fondo hasta la paleta	h	m	-	0,25	Calculado
Largo de las paletas	B	m	-	0,1	Calculado
Ancho de las paletas	W	m	-	0,03	Calculado
Ancho de baffle	L	m	-	0,05	Calculado

La dosificación de floculante se hará mediante una bomba dosificadora de la marca Grundfos. Para la dosis, se recomienda hacer ensayos de Jar-Test periódicamente, y se utilizará poliamina catiónica como floculante.

5.2.1.3. Sedimentador primario

A continuación del proceso de coagulación-floculación, el efluente pasa al sedimentador primario, donde los flocs generados sedimentan, y son removidos y

transferidos al tratamiento de lodos. El diseño del sedimentador se efectuó de la misma manera que el sedimentador secundario de la planta depuradora, explicado en la sección 5.1.3. Sedimentador secundario. En este caso, si bien el rango para la carga superficial es mayor, se adoptó una carga más baja debido a las características del agua de ingreso, siendo de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$. Entonces, los valores obtenidos para cada zona del dimensionamiento del sedimentador primario de la planta potabilizadora son los siguientes.

Tabla 31. Valores del dimensionamiento de la zona de sedimentación del sedimentador primario de la planta potabilizadora.

Sedimentador primario					
Zona de sedimentación					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Carga superficial	Cs	$\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$	10 - 90	10	Adoptado
Área de sedimentación	Ased	m^2	-	0,55	Calculado
Relación largo/ancho	Lsed/Wsed	-	2 - 5	2	Adoptado
Ancho	Wsed	m	-	0,5	Adoptado
Largo	Lsed	m	-	1	Adoptado
Tiempo de permanencia	Tp	min	90 - 150	90	Adoptado
Volumen de sedimentación	Vsed	m^3	-	0,35	Calculado
Altura de sedimentación	Hsed	m	-	0,6	Calculado

Tabla 32. Valores del dimensionamiento de la zona de entrada del sedimentador primario de la planta potabilizadora.

Sedimentador primario					
Zona de entrada (Placa de orificios)					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Diámetro del orificio	Do	m	-	0,01	Adoptado
Velocidad por orificio	Vo	m/s	< 0,15	0,11	Adoptado

Caudal por orificios	Qo	m ³ /h	-	0,03	Calculado
Cantidad de orificios	No	-	-	8	Calculado
Altura de placa	Hp	m	-	0,4	Calculado
Ancho de placa	Wp	m	-	0,5	Adoptado
Separación vertical entre orificios	a	m	-	0,17	Adoptado
Separación horizontal entre orificios	b	m	-	0,1	Adoptado
Orificios por columna	Nc	-	-	4	Calculado
Orificios por fila	Nf	-	-	2	Calculado

Tabla 33. Valores del dimensionamiento de la zona de lodos del sedimentador primario de la planta potabilizadora.

Sedimentador primario					
Zona de lodos (Tolva)					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Ángulo de inclinación	θ	°	-	60	Adoptado
Ancho superior de la tolva	Wts	m	-	0,35	Calculado
Tiempo de descarga	td	h	< 2h	0,50	Adoptado
Ancho inferior de la tolva	Wti	m	-	0,10	Adoptado
Altura de la tolva	Ht	m	-	0,22	Calculado

Tabla 34. Valores del dimensionamiento de la zona de salida del sedimentador primario de la planta potabilizadora.

Sedimentador primario					
Zona de salida (Vertedero)					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Altura del pelo de agua diseño	HI	cm	2 - 15	1,3	Calculado
Número de vertederos diseño	N	-	> 1	2	Adoptado

Altura total	Hv	m	-	0,027	Adoptado
Ancho del vertedero	Wv	m	-	0,05	Calculado
Largo útil	Lu	m	-	0,11	Calculado

Según bibliografía, los sedimentadores primarios tienen una eficiencia de remoción del 50% para SST. De esta manera, sabiendo la concentración del agua de SST relevada en la sección 2.2.4. Caracterización del agua, el efluente ingresa con 54,4 mg/l de SST y pasa a la siguiente unidad de tratamiento con un valor de 27,2 mg/l de SST. Utilizando las ecuaciones 9 y 10, se calculó una producción de lodos de 1,1 kg/semana, equivalentes a 0,02 m³/semana.

A continuación del sedimentador primario, el agua pasa al equipo de filtración para continuar con su tratamiento, el cual se describe a continuación.

5.2.1.4. Filtración

Para la filtración, se realizó el diseño de filtros rápidos de arena por gravedad, con forma rectangular. Para calcular la cantidad de filtros necesarios (Nf), se utilizó la siguiente ecuación:

$$Nf = 0,044 * Q^{1/2} \quad \text{Ecuación 43}$$

donde utilizando el valor de caudal con el que se viene trabajando, se obtuvo como resultado la necesidad de 1 filtro. Luego, se estableció una relación largo/ancho (L/W) de 1,25, dado que debe estar comprendida entre valores de 1,25 a 1,33. Con esto, y adoptando un valor para el ancho de 0,2 m, se obtuvo un valor de L = 0,25 m, y una superficie (S) de 0,05 m². Ya con estos valores obtenidos, se calculó la tasa de filtración (Csf) con la siguiente ecuación:

$$Csf = \frac{Q}{Nf * S} \quad \text{Ecuación 44}$$

dando como resultado una Csf = 110,76 m³/m²d. Para filtros rápidos, la tasa de filtración se encuentra entre 90 y 160 m³/m²d, por lo que el valor obtenido cumple con el rango establecido.

Adoptando una altura de 0,3 m para el filtro, se calculó el volumen necesario de relleno (Vrelleno) como el producto entre la superficie calculada y la altura. De esta manera, se obtuvo un Vrelleno = 0,015 m³.

Los filtros requieren un mantenimiento, el cual implica su lavado. Para esto, se calculó el agua necesaria para la realizar la operación de lavado, la cual se estableció que se hará una vez por semana. Luego, se calculó el volumen de agua de lavado (VI) necesaria para cumplir con esta operación, bajo la siguiente expresión:

$$VI = t * Csl * S \quad \text{Ecuación 45}$$

donde t es el tiempo de lavado y Csl es la carga superficial de lavado. Adoptando una Csl de 40 m³/m²h y un t de 10 minutos, se obtuvo un VI = 0,33 m³. Como se estableció una frecuencia de lavado de 1 vez por semana (NI), el caudal de agua de lavado (QI) necesario es de 0,33 m³/semana. De esta manera, los resultados obtenidos para el equipo de filtración se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 35. Valores del dimensionamiento del equipo de filtración.

Filtración					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Cantidad de filtros	Nf	-	-	1	Calculado
Ancho de cámara	W	m	-	0,2	Adoptado
Largo de cámara	L	m	-	0,25	Calculado
Superficie de filtro	S	m ²	-	0,05	Calculado

En última instancia, el agua pasa a la cámara de cloración, para concluir con su tratamiento.

5.2.2. Tratamiento terciario

5.2.2.1. Cloración

El agua que pasa por el filtro ingresa a la cámara de cloración, la cual se encargará de eliminar los microorganismos patógenos que pueda contener el agua y dejando una dosis de cloro residual, haciendo que sea apta para consumo humano. Esta cámara será rectangular y tendrá una disposición de tipo laberinto o zig-zag, mediante la utilización de

tabiques en su interior, para garantizar un mayor tiempo de contacto entre el líquido y el agente desinfectante, el cual será cloro mediante el agregado de hipoclorito de sodio.

Para el cálculo de la dosis de cloro necesaria (Ct), se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{N_t}{N_o} = (1 + 0,23 * Ct * t)^{-3} \quad \text{Ecuación 46}$$

donde:

- Nt es la concentración de coliformes a la salida de la cámara
- No es la concentración de coliformes a la entrada de la cámara
- Ct es la dosis de cloro necesaria para llevar la concentración de coliformes de No a Nt
- t es el tiempo de permanencia del agua en la cámara

Recordando lo relevado en las secciones anteriores, No equivale a 50 NMP/100 ml y Nt debe ser menor a 3 NMP/100 ml para cumplir con el código alimentario argentino. A fin de tener un margen de seguridad, se estableció un Nt = 1 NMP/100 ml. El tiempo de permanencia debe ser de 20 minutos como mínimo para la cámara de desinfección. Entonces, estableciendo un t de 20 minutos y con los valores mencionados, y despejando Ct de la ecuación 43, se obtuvo una dosis de Ct = 0,39 mg Cl/l. Esto garantiza también cumplir con el mínimo de 0,2 mg Cl/l de cloro residual que debe tener el agua según el código alimentario argentino. La capacidad de cloro (C) se calculó como el producto entre la dosis de cloro y el caudal, arrojando un valor de 2,15 g Cl/d. Utilizando hipoclorito de sodio comercial, el cual tiene una concentración de 107 g/l, se calculó que será necesario un volumen de cloro de 0,02 litros por día. La dosificación se hará mediante una bomba dosificadora de la marca Grundfos.

Luego, se calculó el volumen (V) de la cámara, como el producto entre el caudal y el tiempo de permanencia, llegando a un V = 0,12 m³. La longitud del recorrido hidráulico (l) y el ancho del canal (es decir, el espacio entre los tabiques) debe tener una relación mayor o igual a 40. De esta manera, adoptando un ancho de canal (a) de 0,1 m y una relación de l/a de 40, se obtuvo un l = 4 m. Adoptando un ancho para la cámara (W) de 0,5 m, se calculó la cantidad de canales (Nc) como el cociente entre l y W, resultando en 8 canales. Luego, la cantidad de tabiques (Nt) es igual a la cantidad de canales menos 1, siendo Nt = 7. Luego, el largo de la cámara (L) resulta del producto entre el ancho de canal y la cantidad de

canales, dando como resultado un $L = 0,8$ m. Sabiendo el volumen, el ancho y el largo de la cámara, se calculó la altura (H), obteniendo un valor de 0,3 m. Los valores obtenidos para el dimensionamiento de la cámara de desinfección por cloro se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 36. Valores del dimensionamiento de la cámara de desinfección.

Cloración					
Parámetro	Referencia	Unidades	Rangos	Valor	Comentario
Volumen de cámara	V	m ³	-	0,12	Calculado
Ancho de canal	a	m	-	0,1	Adoptado
Ancho de cámara	W	m	-	0,5	Adoptado
Cantidad de canales	Nc	-	-	8	Calculado
Cantidad de tabiques	Nt	-	-	7	Calculado
Largo de cámara	L	m	-	0,8	Calculado
Altura de cámara	H	m	-	0,3	Calculado

De esta manera, al salir de esta unidad el agua ya se encuentra potable para consumo humano y lista para ser distribuida hacia los establecimientos para su uso.

5.3. Tratamiento de lodos

La planta de tratamiento de lodos estará ubicada en el mismo galpón que la planta depuradora, al ser la que más lodos genera y para facilitar el traslado de los lodos generados en la planta potabilizadora, ya que de esta manera son transportados a favor de la pendiente y no en contra. Estos serán trasladados en tambores específicos para su uso.

Para el diseño de esta planta, la cual tendrá únicamente un espesador por gravedad, es necesario saber el volumen de producción de lodos que ingresará. Entonces, relevando los resultados obtenidos para la planta depuradora, podemos ver que se generan 0,01 m³ de lodos por semana debido al desbaste, 0,01 m³ por semana del desengrasador, y 0,17 m³ por semana en el sedimentador secundario. Por otra parte, en la planta potabilizadora se generan 0,02 m³ de lodos por semana, en el sedimentador primario. Esto da un volumen total de lodos generados que deberán ser tratados de 0,21 m³ por semana. Los barros concentrados serán almacenados en tambores, mientras que el agua residual será reingresada al tren de tratamiento.

Luego de una amplia búsqueda, se decidió optar por la compra de una unidad de la marca Equimar, modelo MDS-051, el cual se consideró como la mejor opción para cumplir con los requisitos del tratamiento de los lodos producidos. Debido al caudal que puede tratar el equipo seleccionado, será necesario tratar los lodos una vez por semana, en el lapso de una hora. Las especificaciones técnicas del equipo se muestran en el Anexo V.

Conociendo las especificaciones del MSD-051, se estimó que se van a generar aproximadamente 0,025 m³ de barros secos por semana, que deberán ser almacenados en tambores para su disposición.

5.4. Galpón calefaccionado

5.4.1. Características del galpón

Habiendo definido el diseño de las plantas de tratamiento de efluentes cloacales, de potabilización de agua y de tratamiento de lodos, y con el dimensionamiento de los equipos terminados, se procede a diseñar los dos galpones calefaccionados necesarios donde se instalarán las plantas. Uno será destinado para la planta de tratamiento de efluentes cloacales y el tratamiento de lodos, y el otro será para la instalación de la planta de potabilización de agua.

En cuanto a la planta depuradora y el tratamiento de lodos, a modo que haya espacio suficiente para los equipos y la circulación del personal que tendrá que operar los mismos, se plantea el diseño de un galpón de 5 metros de ancho por 10 metros de largo por 3 metros de altura, mientras que para la planta potabilizadora se propone el diseño de un galpón de 5 metros de ancho por 5 metros de largo por 3 metros de altura.

Como se ha mencionado en la descripción de la construcción del galpón calefaccionado en la sección 4. Memoria descriptiva y análisis de alternativas, el suelo tendrá un diseño de suelo radiante, el cual se hará siguiendo los criterios y lineamientos detallados en la norma UNE-EN-1264 para su implementación. En esta se describen tres tipos de diseño de suelo, que difieren en la forma, la disposición de las tuberías y la capa aislante. Las distintas opciones y sus características se ven en la siguiente imagen.

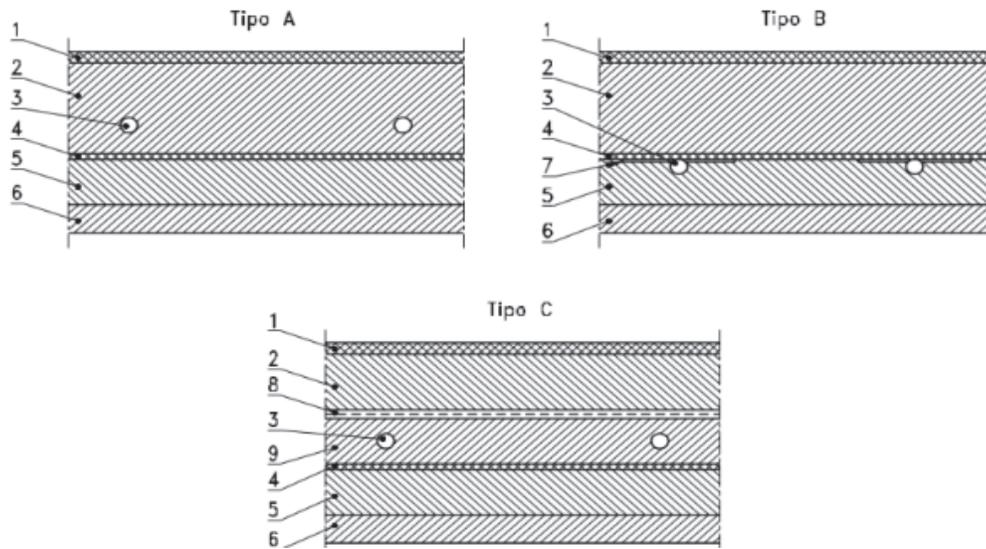


Imagen 17. Tipos de construcción de suelo radiante.

1: Revestimiento ; 2: Concreto ; 3: Tuberías ; 4: Sustrato de protección ; 5: Aislante ; 6: Suelo ; 7: Elemento constructivo adicional ; 8: Sustrato de separación ; 9: Contrapiso

Fuente: Norma UNE-EN-1264

De estos, se seleccionó el de mayor simplicidad a la hora de construirlo. Por ende, se eligió el tipo de suelo A. La estructura elegida resulta de la siguiente composición (de arriba hacia abajo):

1. Sin revestimiento
2. Capa de hormigón de 50 mm
3. Tubería de polietileno de 22 mm de diámetro externo y 16 mm de diámetro interno dentro de la capa de hormigón
4. Capa de lámina de plástico de polietileno de 0,3 mm como sustrato de protección
5. Capa de poliestireno expandido de 75 mm como aislante
 - Capa de lámina de plástico de polietileno de 0,3 mm como sustrato de protección (se decide agregar para proteger el aislante de la arena)
6. Capa de arena de 100 mm como suelo

5.4.2. Dimensionamiento del suelo radiante

Para diseñar los galpones calefaccionados, en primer lugar se calculó el flujo térmico máximo y con esto la potencia necesaria con las siguientes ecuaciones:

$$q = 8,91 * (\theta_{f,max} - \theta_i)^{-1,1} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$P = q * A \quad \text{Ecuación 48}$$

donde:

- q es el flujo térmico máximo
- $\theta_{f,m\acute{a}x}$ es la temperatura máxima de la superficie del pavimento
- θ_i es la temperatura ambiente nominal
- P es la potencia
- A es el área a calefaccionar

Según la norma, la temperatura ambiente máxima para el área ocupada es de 29 °C, y la temperatura ambiente nominal se define en 20 °C. Con esto, se obtiene para ambos galpones un flujo térmico máximo de $q = 100 \text{ W/m}^2$. Luego, con las dimensiones determinadas previamente, el galpón de la planta depuradora tendrá un área de 50 m^2 y el galpón de la planta potabilizadora un área de 25 m^2 , resultando en una potencia necesaria de $P = 5 \text{ kW}$ para el galpón de la planta depuradora y de $P = 2,5 \text{ kW}$ para el de la planta potabilizadora.

Luego, se calculó el caudal de agua necesario para el sistema de suelo radiante con la expresión establecida en la UNE-EN-1264, donde se puede ver que el caudal depende de las pérdidas térmicas por debajo de las tuberías:

$$mh = \frac{A*q}{\sigma*C_w} \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{q*R_u} \right) \quad \text{Ecuación 49}$$

donde:

- m_h es el caudal másico
- σ es el salto de temperatura (es decir, la diferencia entre la temperatura de impulsión del agua y la temperatura de retorno del circuito radiante)
- C_w es el calor específico del agua
- R_o es la resistencia térmica parcial ascendente del suelo
- R_u es la resistencia térmica parcial descendente del suelo
- θ_u es la temperatura inferior del recinto

Como se verá a continuación a medida que se vayan explicando los parámetros, el caudal másico depende del área y luego de factores que no dependen de la dimensión del galpón. Por ende, los resultados que se presentan a continuación son válidos tanto para el galpón de la planta depuradora como el de la potabilizadora.

El salto de temperatura se calcula como la diferencia entre la temperatura de impulsión del agua (θ_v) y la temperatura de retorno del circuito radiante (θ_r). La temperatura de impulsión del agua es la suma entre la temperatura ambiente y el salto térmico suelo-ambiente ($\Delta T(s-\Delta)$), el cual se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta T(s - \Delta) = \frac{q}{B \cdot a_t^{m_t} \cdot a_u^{m_u} \cdot a_d^{m_d}} \quad \text{Ecuación 50}$$

donde:

- B es un factor de tubería
- a_t es un factor de paso
- a_u es un factor de recubrimiento
- a_d es un factor del diámetro externo de la tubería
- m_t , m_u y m_d son exponentes de la curva característica de rendimiento del comportamiento térmico

Todos estos parámetros de diseño salen de tablas o ecuaciones de la norma en cuestión. El factor de paso se obtiene de una tabla que depende de la resistencia térmica del pavimento ($R_{\lambda,B}$), que equivale a el cociente entre el espesor del pavimento (e) y la conductividad térmica del pavimento ($\lambda_{\lambda,B}$). Con un $e = 0,05$ m y una $\lambda_{\lambda,B} = 1,63$ W/m°C, se obtuvo una $R_{\lambda,B} = 0,031$ m²°C/W. Con esto, se adopta el valor más cercano para a_t de la siguiente tabla:

Tabla 37. Valores posibles para el factor de paso a_t

$R_{\lambda,B}$	0	0,05	0,10	0,15
a_t	1,23	1,188	1,156	1,134

Fuente: Norma UNE-EN-1264.

Observando las posibilidades, se adoptó un valor de $a_t = 1,188$, siendo 0,05 el valor más cercano al $R_{\lambda,B}$ obtenido.

El factor de recubrimiento a_u depende de $R_{\lambda,B}$ y de la distancia entre las tuberías (T), el cual se estableció de 0,25 m, según la siguiente tabla:

Tabla 38. Valores posibles para el factor de recubrimiento a_u

$R_{\lambda,B}$	0	0,05	0,10	0,15
T	a_u			
0,05	1,069	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,053	1,041	1,035
0,1	1,063	1,05	1,039	1,0335
0,15	1,057	1,046	1,035	1,0305
0,2	1,051	1,041	1,0315	1,0275
0,225	1,048	1,038	1,0295	1,026
0,3	1,0395	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,0221	1,0181	1,015

Fuente: Norma UNE-EN-1264.

Observando la tabla, se adoptó un valor de $a_u = 1,038$.

El factor del diámetro externo de la tubería a_d también está en función de T y $R_{\lambda,B}$, según la siguiente tabla:

Tabla 39. Valores posibles para el factor de diámetro externo de tubería a_d

$R_{\lambda,B}$	0	0,05	0,10	0,15
T	a_d			

0,05	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,1	1,029	1,025	1,022	1,018
0,15	1,04	1,034	1,029	1,024
0,2	1,046	1,04	1,035	1,03
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,3	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Fuente: Norma UNE-EN-1264.

De esta manera, a_d tomó un valor de 1,043.

Los exponentes m_t , m_u y m_d se calculan con las siguientes expresiones:

$$m_t = 1 - \frac{T}{0,075} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$m_u = 100(0,045 - Su) \quad \text{Ecuación 52}$$

$$m_d = 250(Dext - 0,02) \quad \text{Ecuación 53}$$

donde:

- Su es el espesor por encima de las tuberías
- Dext es el diámetro externo de las tuberías

por lo que definiendo un $Su = 0,03$ m y los demás valores conocidos, se obtuvieron factores de $m_t = -2,33$; $m_u = 1,5$ y $m_d = 0,5$.

El factor de tubería B sale de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{B} = \frac{1,1}{Bo} + \frac{1,1}{\pi} * a_u^{m_u} * a_t^{m_t} * a_d^{m_d} * T * \left[\frac{1}{2*Ktubo} \ln\left(\frac{Dext}{Dint}\right) - \frac{1}{2*Ktubo,ref} \ln\left(\frac{Dext,ref}{Dint,ref}\right) \right]$$

Ecuación 54

donde:

- B_0 es un factor de referencia
- K_{tubo} es la conductividad de la tubería
- $K_{tubo,ref}$ es la conductividad de la tubería de referencia
- $D_{ext,ref}$ es un diámetro exterior de referencia
- $D_{int,ref}$ es un diámetro interior de referencia

para los cuales se utilizaron los valores establecidos en la norma, que son $B_0 = 6,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $K_{tubo} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $K_{tubo,ref} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $D_{ext,ref} = 0,016 \text{ m}$; $D_{int,ref} = 0,014 \text{ m}$. Con esto y los demás datos conocidos, despejando B se obtuvo un valor de $6,36 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Ahora sí, con todos estos valores se calculó el salto térmico suelo-ambiente con la ecuación 47, que dio $\Delta T(s-\Delta) = 23 \text{ °C}$. De esta manera, la temperatura de impulsión resultó ser de $\theta_v = 43 \text{ °C}$.

La temperatura de retorno del circuito radiante viene dado bajo el siguiente modelo:

$$\Delta\theta_h = \frac{\theta_v - \theta_r}{\ln\left(\frac{\theta_v - \theta_i}{\theta_r - \theta_i}\right)} \quad \text{Ecuación 55}$$

donde $\Delta\theta_h$ es la desviación media logarítmica aire-agua, que sale de la curva característica del rendimiento, la cual se presenta a continuación.

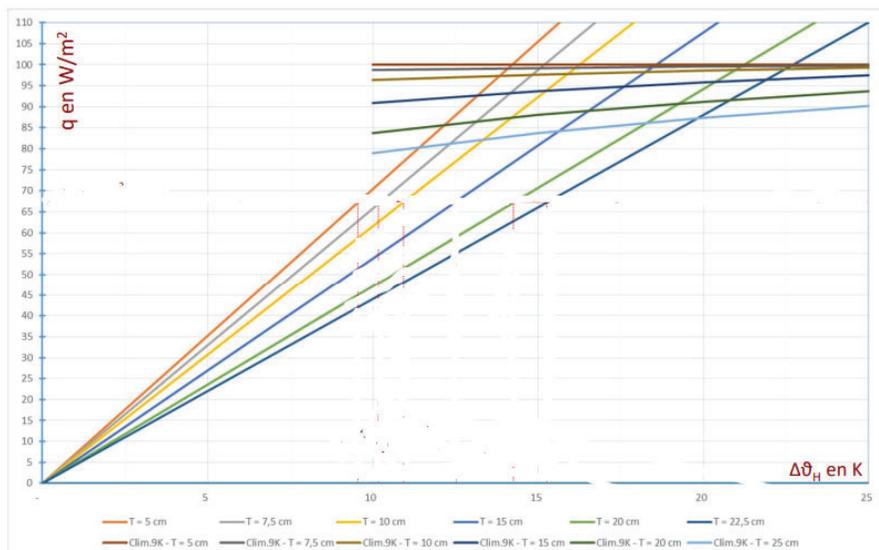


Imagen 18. Curva característica de rendimiento del comportamiento térmico.

Fuente: Norma UNE-EN-1264.

De la imagen se obtuvo un valor de $\Delta\theta_h = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, y luego se obtuvo un resultado de $\theta_r = 39 \text{ }^\circ\text{C}$ despejando de la ecuación 52. Con esto, se pudo calcular σ (el salto de temperatura), siendo igual a $4 \text{ }^\circ\text{C}$. El rango establecido va de 0 a $5 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo que entra dentro del rango.

Luego, las resistencias térmicas parciales ascendente y descendente del suelo (R_o y R_u) se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda,B} + \frac{Su}{\lambda_u} \quad \text{Ecuación 56}$$

$$R_u = \frac{e_{pe}}{\lambda_{pe}} \quad \text{Ecuación 57}$$

donde:

- α es el coeficiente de intercambio térmico
- λ_u es la conductividad térmica del sustrato de soporte del tubo
- e_{pe} es el espesor de la capa de poliestireno
- λ_{pe} es la conductividad del tubo de poliestireno expandido

cuyos valores salen de bibliografía (exceptuando al espesor de la capa de poliestireno). Entonces, con un $\alpha = 10,8 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda_u = 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\lambda_{pe} = 0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; y definiendo un $e_{pe} = 0,075 \text{ m}$, se obtuvieron valores de $R_o = 0,173 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$ y $R_u = 2,27 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$. Según la norma, R_u debe ser mayor a $2 \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$ cuando la temperatura exterior pueda alcanzar los $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, motivo por el cual se determinó el espesor de la capa de poliestireno, a fin de cumplir con este parámetro.

Finalmente, sabiendo que el calor específico del agua equivale a $4190 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, y que la temperatura inferior puede ser de $-5,5 \text{ }^\circ\text{C}$, se pudo calcular el caudal másico para cada galpón, utilizando la ecuación 49. Con todos estos datos, se obtuvo un $m_h = 0,32 \text{ kg/s}$, lo que equivale a $1,14 \text{ m}^3/\text{h}$ para el galpón de la planta depuradora, mientras que para el galpón de la planta potabilizadora se obtuvo un valor de $m_h = 0,16 \text{ kg/s}$, equivalente a $0,57$

m³/h. Para cumplir con este caudal se instalará una bomba periférica marca Pluvius modelo Qb60 0,5 HP.

La longitud de las tuberías se calculó como el cociente entre el área del galpón y el paso entre las tuberías. De esta manera, para el galpón de la planta depuradora se necesitarán 200 m de tuberías, mientras que para el de la planta potabilizadora se necesitarán 100 m de tuberías.

5.5. Red de agua potable

5.5.1. Toma de la fuente

El abastecimiento de agua será realizado de la misma forma que ya se hace actualmente, mediante la bomba instalada en el lago y la cañería de 1 pulgada, que será redirigida hacia el galpón donde estará la planta potabilizadora. Para evitar el congelamiento de la cañería, se incorporará una tecnología de cable calefactor que se detalla más adelante.

5.5.2. Diseño de la red

El diseño de la red de distribución de agua potable se realizó siguiendo un modelo de sistema ramificado. En este tipo de modelo, el agua circula siempre en un único sentido a través de la red. Se compone de una tubería principal, de la cual se desprenden tuberías secundarias (o ramificaciones) que forman una disposición parecida a la espina de un pez. Este tipo de red se utiliza cuando la topografía dificulta o no permite la interconexión entre ramales, y se cuenta con poblaciones chicas y una distribución lineal, características que se cumplen en este proyecto.

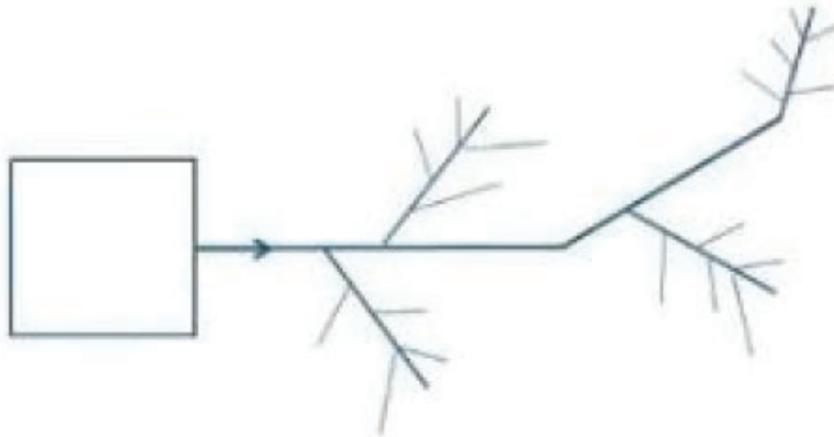


Imagen 19. Ejemplo de red ramificada de distribución de agua potable

Fuente: EADIC Engineering, Training & Development Solutions

Mediante el programa Epanet, un software desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), se realizó una simulación hidráulica de la red para verificar el cumplimiento de las presiones y los caudales en los distintos tramos del sistema. Luego, se definieron las pendientes y las alturas de elevación sobre el terreno (recordando que el sistema de tuberías no va enterrado) y el sistema de calefacción de las tuberías.

A partir de la información relevada de la BACE, se confeccionó en Autocad el siguiente mapa simplificado con los establecimientos a abastecer, las cotas de nivel y el diseño de la red con los nudos correspondientes.

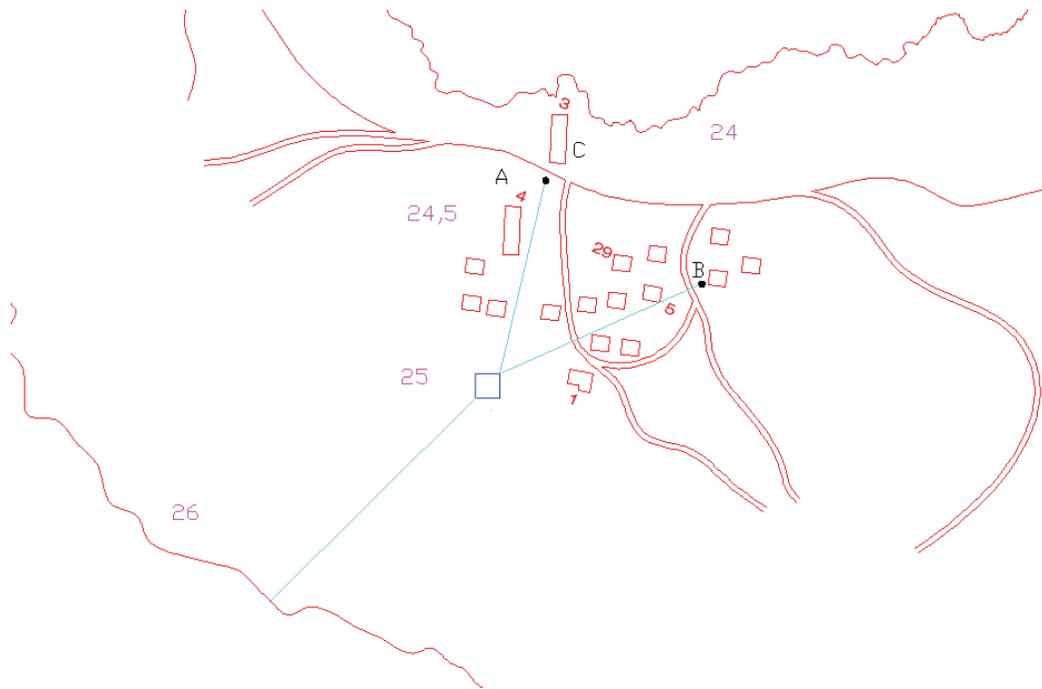


Imagen 20. Sistema de distribución de agua potable

En celeste, la red de distribución. En violeta, las cotas de nivel. En rojo, los establecimientos, donde 1 es la Jefatura, 3 es la Casa Principal, 4 es la Escuela, 5 es la Enfermería, 29 el laboratorio y el resto son las Viviendas. En azul, el galpón de la planta potabilizadora. En negro, los nudos.

Fuente: elaboración propia

Como se puede notar, la red consta de 3 caños. Uno que lleva el agua desde el lago hacia la planta potabilizadora, y dos que son los encargados de distribuir el agua potable

hacia los establecimientos. Cabe destacar que si bien un caño pasa por lo que son los caminos, estará dispuesto en altura (como se explicará en detalle más adelante) por lo que no interferirá con el paso.

Una vez definida la red y los nodos, se procedió a calcular la demanda base en cada nodo.

5.5.3. Demanda base

Observando la imagen 20, se calculó la demanda base para cada nodo. A continuación se detalla las demandas que debe cubrir cada uno:

- A) Debe abastecer a 4 casas, la Usina Principal y la Escuela
- B) Debe abastecer a 8 casas, la enfermería, el laboratorio y la Jefatura

Sabiendo qué debe abastecer cada nudo se le asignó una demanda base, recordando la cantidad de personas que hay por vivienda, el caudal que se asignó por persona (restando lo que se reutiliza), y los consumos relevados de las dependencias, la Casa Principal y la Escuela. De esta manera, se calculó en primer lugar el caudal para cubrir la demanda base de una vivienda, con la siguiente ecuación:

$$q_v = 50 \frac{l}{p*d} * 1,5 * 0,78 * \frac{1d}{24h} * \frac{1h}{3600} * 5p \quad \text{Ecuación 58}$$

donde:

- q_v es la demanda base de una vivienda
- 50 l/p*d es el abastecimiento asignado a una persona por día
- 1,5 es el coeficiente de pico de consumo
- 0,78 es el factor que considera el reuso del agua
- $5p$ es el promedio de personas por vivienda

de esta manera la demanda base por vivienda resultó ser de $q_v = 0,0034 \text{ l/s}$. Luego, se le asignó una demanda base de $7*q_v$ para la Casa Principal, $2*q_v$ para la Escuela, $2*q_v$ para la Jefatura y q_v para el laboratorio y la enfermería.

5.5.4. Pendientes, Velocidades, Diámetros

Los caños deben disponerse con cierta pendiente, de manera tal de favorecer el flujo de agua. Según los criterios de ENOHSA, los caños deben tener una pendiente mínima del 3% cuando el aire circula en el sentido del escurrimiento del agua, y una pendiente mínima del 6% en caso contrario. En este proyecto, se consideraron pendientes que favorezcan la

disposición de los caños en el terreno, teniendo en cuenta que estarán por encima de la superficie y no deben interferir con el paso o con las instalaciones existentes.

En cuanto al diámetro de los caños, se tuvo en cuenta que AySA establece un rango de velocidades aceptadas según el tamaño del caño. En casos donde el diámetro sea menor a 200 mm, la velocidad debe estar entre 0,3 y 0,9 m/s. Si el caño tiene un diámetro entre 200 y 500 mm, la velocidad debe ser de 0,6 a 1,3 m/s. Y si el caño tiene un diámetro mayor a 500 mm, la velocidad debe ser de 0,8 a 2 m/s. En este caso, luego de varias simulaciones en EPANET, dado que se cuenta con una baja población y por ende una baja demanda, a fin de cumplir con las velocidades recomendadas, se seleccionaron caños de acero inoxidable de 12,7 mm de diámetro (media pulgada).

5.5.5. Alturas

Debido a que los caños deben pasar por sitios donde hay caminos y circulan los habitantes y las camionetas, se decidió optar por un diseño de la red en altura, donde los caños estén como mínimo 3 metros por encima de la superficie. De esta manera, con las cotas de terreno, las pendientes adoptadas y las longitudes de los caños y sus diámetros, se confeccionó la siguiente tabla, donde se pueden ver los resultados obtenidos para la altura de cada caño con respecto al terreno, que se calculó con la pendiente adoptada y las cotas de terreno.

Tabla 40. Cálculo de la red de distribución de agua potable

Tubería	Nodos	Cota terreno		Demanda base (l/s)	Longitud (m)	Diámetro adoptado (mm)	Pendiente terreno	Pendiente adoptada	Boca de salida		Boca de llegada	
		Salida	Llegada						Intrados (m)	Altura (m)	Intrados (m)	Altura (m)
2	PTAP - A	25	24,5	0,04	40	12,7	0,013	0,003	28	3	27,88	3,38
3	PTAP - B	25	24,5	0,04	45	12,7	0,011	0,003	28	3	27,87	3,37

5.5.6. Estructura y Sistema calefactor

La cañería estará suspendida gracias a una estructura de soporte, a través de anclajes metálicos empotrados al suelo con bloques de apoyo compuestos por abrazaderas metálicas, soportes de acero y bridas. Los apoyos estarán separados 100 cm, para así lograr la estabilidad de la cañería frente a los fuertes vientos.

Luego, para evitar el congelamiento del agua en la cañería, se utilizará una tecnología de cables calefactores. Se obtendrá el modelo Freez Stop Regular (FSR) de la marca Heat-Trace Argentina, cuyas características se adaptan perfectamente a las necesidades del modelo. Sus especificaciones se muestran en el Anexo VI. Este cable puede trabajar en un rango de -40 a 80 °C, tiene la funcionalidad de ser autorregulable (es

5.5.9. Listado de materiales

Para el tendido de la red de agua potable, serán necesarios los materiales que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 41. Listado de materiales de la red de agua potable

Accesorio	Cantidad
Caño 1/2 pulgada (m)	85
Válvula de aire	1
Válvula de purga	2
Bloques de apoyo	85
'T' 1/2 pulgada	1
Codo 90 1/2 pulgada	1
Bomba periférica 1 HP Pluvius Qb80	1
Cable calefactor 1/2 pulgada (m)	85
Cable calefactor 1 pulgada (m)	1000

5.6. Red de distribución de agua tratada

El diseño de la red de distribución de agua tratada tiene la finalidad de aprovechar el agua tratada por la planta de tratamiento de efluentes cloacales, para su reuso en los baños de las casas y los establecimientos, tal como se ha descrito previamente en el proyecto. Al igual que para la red de agua potable, se hizo un diseño de tipo red ramificada, que luego se simuló en EPANET.

5.6.1. Diseño de la red

Al igual que para la red potable, se confeccionó en Autocad el diseño de la disposición de los caños con los establecimientos a abastecer, las cotas de nivel y los nudos correspondientes.

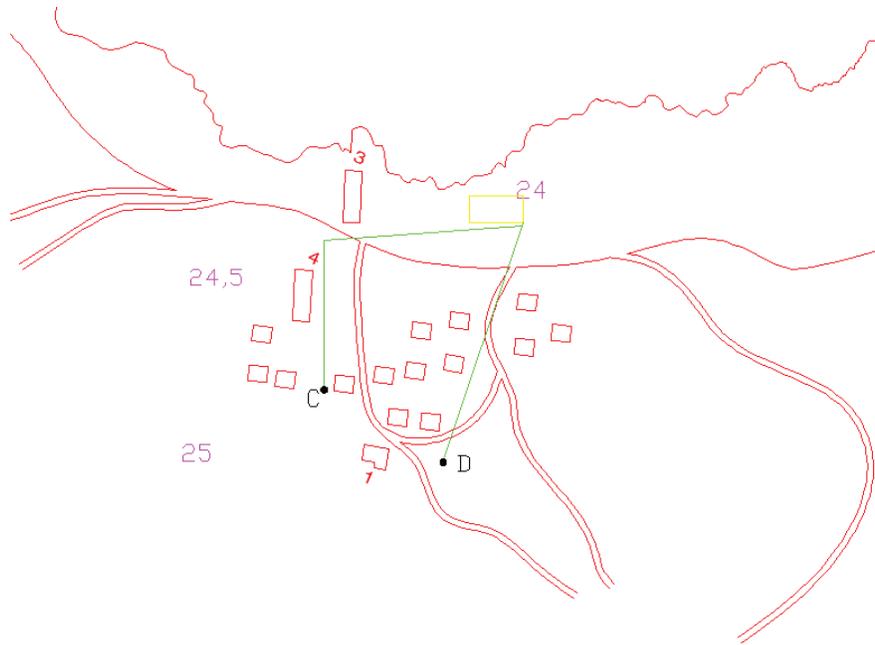


Imagen 22. Sistema de distribución de agua tratada

En verde, la red de distribución. En negro, los nodos.

Fuente: elaboración propia

Al igual que los caños de la red potable, estos los caños también estarán dispuestos en altura.

5.6.2. Demanda base

Para el cálculo de la demanda base de cada nodo, se utilizó la misma ecuación que para la red potable (55), donde en este caso se utiliza un factor de 0,22 en vez de 0,78. Con esto, se obtuvo un $q_v = 0,0014$ l/s.

5.6.3. Pendientes, Velocidades y Diámetros

Se siguieron los mismos lineamientos explicados que para la red potable, y se utilizaron los mismos caños.

5.6.4. Alturas

Al igual que para la red potable, se utilizó una planilla excel para calcular las alturas de los caños. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 42. Cálculo de la red de distribución de agua tratada.

Tubería	Nodos	Cota terreno		Demanda base (l/s)	Longitud (m)	Diámetro adoptado (mm)	Pendiente terreno	Pendiente adoptada	Boca de salida		Boca de llegada	
		Salida	Llegada						Intrados (m)	Altura (m)	Intrados (m)	Altura (m)
1	PTEC - C	24	24,5	0,02	65	12,7	-0,008	0,003	27,5	3,5	27,31	2,81
2	PTEC - D	24	24,5	0,02	48	12,7	-0,010	0,003	27,5	3,5	27,36	2,86

5.6.5. Estructura y Sistema Calefactor

Para la calefacción de los caños, se utilizará el mismo sistema que para la red de agua potable.

5.6.6. Simulación de la red

Para verificar cumplir con las velocidades y presiones necesarias, utilizando una bomba periférica 1/2 HP Pluvius Qb60, se simuló el diseño de la red en el programa EPANET. El resultado se puede ver en la imagen presentada a continuación.

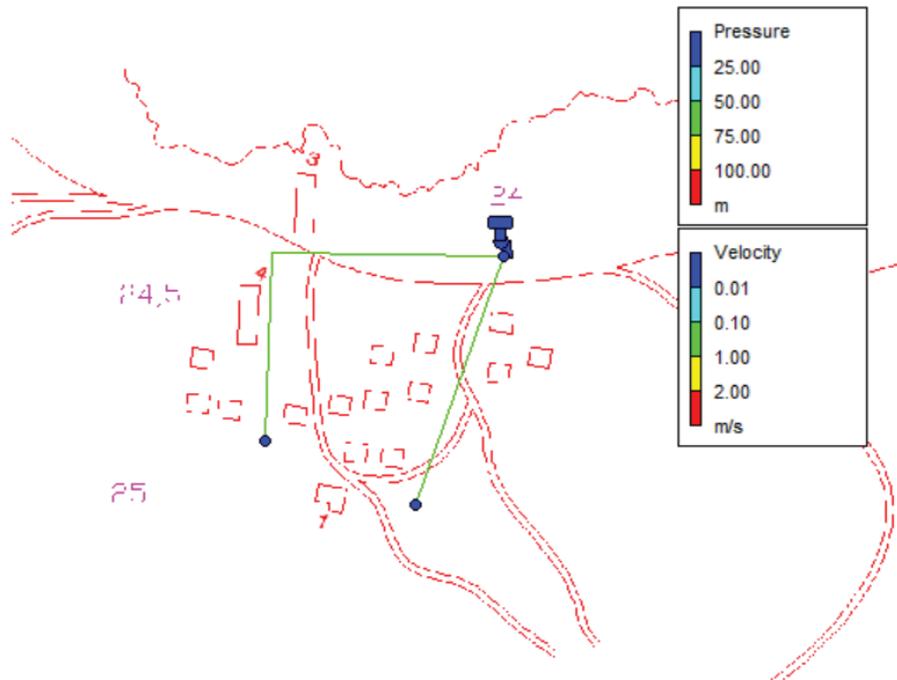


Imagen 23. Simulación de la red de agua tratada en EPANET

Fuente: elaboración propia

Se verificó de esta manera que se esté cumpliendo con las velocidades y presiones necesarias.

5.6.7. Válvulas

Se dispondrá una válvula de aire en un punto alto de la red y dos válvulas de purga en los puntos bajos de cada caño, al igual que en la red de agua potable.

5.6.8. Listado de materiales

El tendido de la red de agua tratada requerirá de los materiales que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 43. Listado de materiales de la red de agua tratada

Accesorio	Cantidad
Caño 1/2 pulgada (m)	113
Válvula de aire	1
Válvula de purga	2
Bloques de apoyo	113
'T' 1/2 pulgada	1
Codo 90 1/2 pulgada	2
Bomba periférica 1/2 HP Pluvius Qb60	1
Cable calefactor 1/2 pulgada (m)	113

5.7. Red cloacal

El objetivo de la red cloacal es transportar todos los efluentes líquidos generados en las casas y los establecimientos hacia el galpón de la planta de tratamiento de efluentes cloacales, para su debido tratamiento y posterior vuelco. Dado que el efluente cloacal puede contener sólidos, su bombeo suele ser complicado y por ende, la red cloacal suele tener una pendiente en dirección a favor hacia la planta desde las casas, permitiendo el flujo del efluente. El diseño de la misma se confeccionó de la siguiente manera.

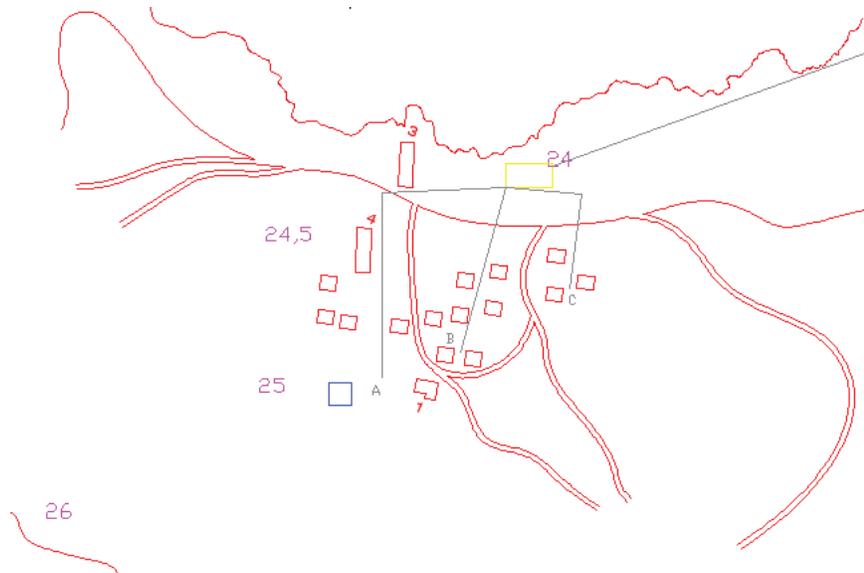


Imagen 24. Diseño de la red cloacal

En gris, los caños de la red cloacal.

Fuente: elaboración propia

En la imagen 24 se puede ver a su vez el caño que lleva el efluente tratado hacia el sitio de vuelco.

5.7.1. Caudal

El caudal de diseño para la red cloacal se estimó considerando que es proporcional al consumo de agua con un factor de retorno de 0,8. Es decir, que el 80% del agua usada ingresa a la red cloacal para luego ser tratada.

5.7.2. Diámetros y Pendientes

Por normativa, se definen las pendientes mínimas que debe tener una red cloacal. Estas dependen del diámetro del caño que se esté utilizando. Los valores se describen a continuación.

Tabla 44. Pendientes mínimas según el diámetro de cañería de red cloacal

Diámetro	Pendiente mínima
200	3%
300	2%

400	1,5%
500 - 1000	1%
> 1000	0,8%

En este caso, al tratarse de una red chica y con poco caudal, se decidió utilizar un caño de acero galvanizado de 110 mm de diámetro, con una pendiente del 5% en todos los casos. Cabe recordar que al igual que las redes de distribución de agua potable y reutilizada, esta cañería también estará dispuesta en suspensión con el mismo mecanismo. Contará también con un sistema de cable calefactor.

5.7.3. Alturas

En este caso, se debe evitar en lo posible que el efluente deba ser bombeado. Por este motivo, se buscó diseñar la red de manera tal que los caños puedan ir lo más cercanos al suelo posible. Viendo la imagen 24, se puede notar que a diferencia de las otras redes, esta no atraviesa ningún camino en ningún momento. Por ende, se eligieron alturas entre 50 y 100 cm, considerando las pendientes necesarias y los posibles aumentos de nivel del suelo por nevadas. Además, se buscó que los caños lleguen con una altura suficiente como para ingresar directamente al tren de tratamiento, el cual comienza con el sistema de rejillas dentro de la cámara desengrasadora, que tiene una altura de 0,8 m.

5.7.4. Bocas de registro y de ventilación

Para garantizar un espacio de inspección y mantenimiento, se deben poner bocas de registro. Estas, según lineamientos de AySA, deben instalarse en cada esquina, en todas las nacientes de tuberías, en las uniones entre colectoras y colectores, y en cambios de pendiente, de diámetro, de dirección o de material. En este caso, se cuenta con dos cambios de dirección. Además, en los criterios de AySA se establecen distancias máximas que debe haber entre bocas de registro. Sin embargo, en este proyecto todas las distancias son menores.

Las bocas de acceso y ventilación se utilizan donde haya arranque de una sola colectoras y la tapada no exceda 1,20 m. En este caso, hay tres arranques de colectoras.

5.7.5. Proyección de la red

Una vez definido el diseño de la red, sabiendo la disposición de los caños, sus diámetros y pendientes, junto a los caudales y las cotas de nivel, se realizó la proyección de la red mediante una planilla de AySA. En dicha planilla, se calculan distintos parámetros para asegurar que se estén cumpliendo ciertos valores establecidos de velocidad, caudal y la condición de autolimpieza. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Tabla 45. Cálculo de la red cloacal

TRAMO	Boca de Registro		COTA TERRENO		LONGITUD		CAUDAL			DIAMETRO ADOPTADO	MATERIAL	PENDIENTE Terreno	PENDIENTE Adoptada	BOCA DE SALIDA		BOCA DE LLEGADA		CAUDAL SECCION LLENA	VELOCIDAD SECCION LLENA	Q/Qlleno	Y/D	Y TIRANTE DE LIQUIDO	AREA REAL	RADIO H. REAL	VELOCIDAD REAL	VERIFICACIONES		Autolimpieza				
	Salida	Llegada	(mJGM)	(m)	Casas	Caudal del Tramo	Caudal Acumulado	Intrados	Altura					Intrados	Altura	(m/s)	(m/s)									(mm)	(m ²)		(m)	(m/s)	V	Q
			(N)	(l/s)	(l/s)	(mm)	(mJGM)	(m)	(mJGM)					(m)	(l/s)	(m/s)	(m/s)									(mm)	(m ²)		(m)	(m/s)	(m/s)	(l/s)
1	A	PTEC	24.50	24.00	67	15	0.002	0.002	110	Acero galvanizado	0.007	0.005	25.20	0.70	24.87	0.86	6.1	0.64	0.013331	0.159	17.5	0.125	0.4605	0.000653	ok	ok	Verifica autolimpieza					
2	B	PTEC	24.50	24.00	37	7	0.042	0.042	110	Acero galvanizado	0.014	0.005	25.00	0.50	24.82	0.82	6.1	0.64	0.006877	0.155	17.047	0.120	0.4557	0.000351	ok	ok	Verifica autolimpieza					
3	C	PTEC	24.50	24.00	21	3	0.022	0.022	110	Acero galvanizado	0.024	0.005	25.00	0.50	24.90	0.90	6.1	0.64	0.003535	0.153	16.799	0.118	0.4531	0.000184	ok	ok	Verifica autolimpieza					

Como se puede ver en la tabla 46, todas las secciones verifican las velocidades, los caudales y la autolimpieza.

5.7.6. Listado de materiales

El listado de materiales necesario para el tendido de la red cloacal se detalla a continuación.

Tabla 46. Listado de materiales para la red cloacal

Accesorio	Cantidad
Codo 90 DN 110	2
Bocas de registro	2
Bocas de ventilación	3
Caño 110 mm (m)	200
Bloques de apoyo	200
Cable calefactor 110 mm (m)	200

Finalmente, el diseño de la BACE con todas sus redes resultó de la siguiente manera.

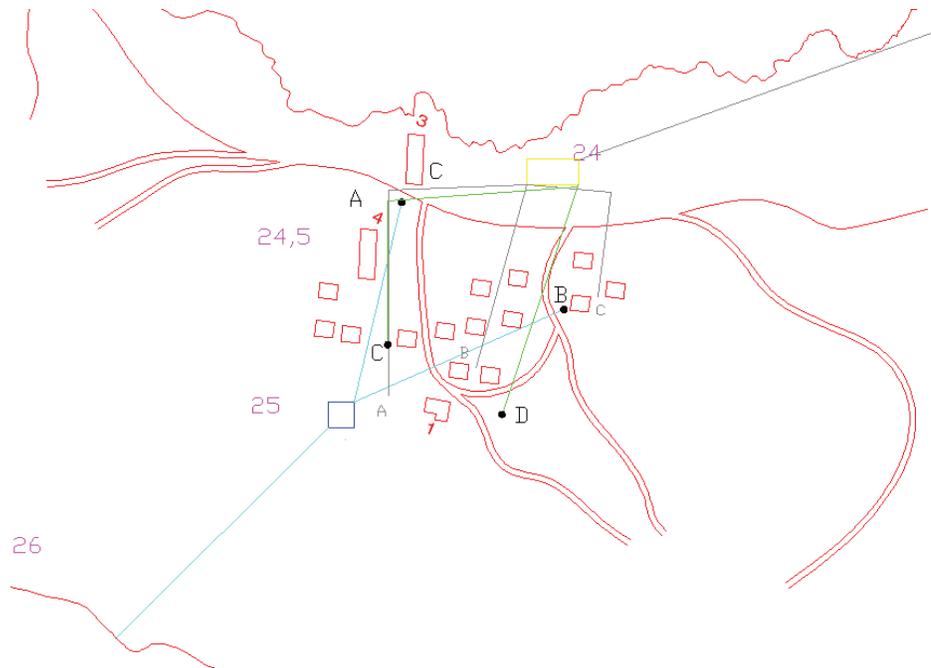


Imagen 25. Disposición de las redes de caños en la BACE.

Fuente: elaboración propia

En la imagen 25 se puede ver que algunos caños pasan por el mismo lugar. Sin embargo, verificando los cálculos de sus alturas se corroboró que estarán a distintas alturas, por lo que no habrá problema de interferencia.

5.8. Gestión de residuos

El diseño de la gestión de residuos implicará en primer lugar el cálculo de la producción de residuos estimada por cada grupo ya explicado. Luego, ya sabiendo lo que se genera se definirá un esquema de recolección, desde los equipos necesarios para llevarla a cabo, la frecuencia con la cual se deberán recolectar y las rutas por donde deberán ser recolectados y luego llevados hacia el lugar de almacenamiento. Allí, se almacenarán en tambores herméticos de acero inoxidable, de 200 litros.

El lugar de almacenamiento será la usina principal, que hasta el momento se utiliza para recibir el agua bombeada del Lago Boeckella. Se elige almacenar los residuos en este lugar ya que se encuentra alejado de las casas y del mar, tiene buena accesibilidad gracias a dos caminos que confluyen ahí, y cuenta con un espacio ya preparado y suficiente como para almacenar la totalidad de los residuos. Ahí, se contará con una prensa de tambores de

la marca Capial Máquinas, para su compactación y almacenamiento hasta su retiro hacia la disposición final.

5.8.1. Generación

Los residuos se clasificarán en 5 categorías distintas, de manera similar a como se ha explicado previamente. Sin embargo, en este caso el grupo V estará conformado por los barros generados en las plantas de tratamiento. Recordando, el grupo V estaba destinado a las aguas residuales, pero como serán tratadas y volcadas, no será necesaria su almacenamiento, mientras que si se necesita un almacenamiento diferenciados para los barros generados. Todos los residuos de los grupos I a IV serán almacenados en tachos diferenciados de 25 litros que poseen las casas y de 60 litros que poseen los establecimientos según corresponda (casa principal, escuela, enfermería y laboratorio) hasta su recolección, la cual se detalla más adelante. Los residuos del grupo V generados en la PTAP serán almacenados en tambores de 20 litros hasta su recolección, mientras que los barros secos generados en la PTEC serán dispuestos directamente en tambores de 200 litros. A continuación se calcula la cantidad de residuos generados de cada grupo por casa o establecimiento, recordando que la BACE genera aproximadamente un total de 43,2 m³ de residuos en un año, equivalentes a 15730 kg. Sin embargo, esto no contemplaba la generación de barros secos de las plantas de tratamiento.

5.8.1.1. Generación de Grupo I

Los residuos de Grupo I serán aquellos residuos biodegradables sólidos, como restos de alimentos, papeles, maderas y trapos limpios. Debido a la forma de vida en la BACE y por conversaciones con personal de allá, se estimó que un 25% de lo generado en el 2023 fue correspondiente a residuos de este grupo. Por ende, se calculó una generación de 10,8 m³, equivalentes a 3933 kg por año. Esto da una generación de 0,23 m³/semana, equivalentes a 82 kg/semana. Además, se consideró que la casa principal y la escuela van a tener una mayor generación que las casas. De esta manera, se contempló que la casa principal generará 10 veces más que una casa particular, y que la escuela generará 5 veces más que una casa particular. Al haber 12 casas, se estimó que cada casa particular generará 0,01 m³/semana, equivalentes a 3 kg/semana, que la casa principal generará 0,10 m³/semana, equivalentes a 30 kg/semana y que la escuela generará 0,05 m³/semana, equivalentes a 15 kg/semana.

Las casas y la escuela tendrán tachos de color verde (la casa principal tendrá dos), con etiqueta clara explicando el contenido y bolsas verdes para disponer los residuos generados de este grupo.

5.8.1.2. Generación de Grupo II

Los residuos del grupo II serán aquellos residuos no biodegradables sólidos, como plásticos, víveres vencidos, envases metalizados, etc. De la misma forma que para el grupo I, se realizaron los cálculos para la generación de este tipo de residuos por casa y para la casa principal. En este caso, se consideró que lo generado por la BACE corresponde en un 35% a este grupo. Entonces, se obtuvo una generación de 15,1 m³ y 5506 kg en el año para toda la BACE, de los cuales 0,011 m³ y 4,1 kg serían correspondientes a una casa por semana, 0,11 m³ y 41 kg serían correspondientes a la casa principal y 0,06 m³ y 21 kg serían correspondientes a la escuela.

Las casas y la escuela tendrán tachos de color negro (la casa principal tendrá dos), con etiqueta clara explicando el contenido y bolsas negras para disponer los residuos generados de este grupo.

5.8.1.3. Generación de Grupo III

Los residuos del grupo III serán aquellos residuos peligrosos, sólidos y líquidos establecidos en la Ley 24.051, detallados en el Anexo I. Este grupo fue el único del cual se supo la cantidad generada, donde para el año 2023 se dispusieron 12 m³, con un peso de 5470 kg. En este caso, se considera que sólo se generará este tipo de residuos en el laboratorio y en la enfermería, con un aporte similar de ambos establecimientos. Entonces, cada establecimiento generará 0,12 m³ por semana, equivalentes a 46,5 kg/semana.

El laboratorio y la enfermería tendrán dos tachos en cada establecimiento de color rojo, con etiqueta clara explicando el contenido y bolsas rojas para disponer los residuos generados de este grupo.

5.8.1.4. Generación de Grupo IV

Los residuos del grupo IV serán aquellos residuos inertes sólidos, como vidrios, chapas, restos de estructuras metálicas, tambores limpios, alambres, restos de concreto u hormigón, ladrillos, zunchos de embalaje, etc. Para este grupo, correspondería el 12% restante de lo generado, ya que entre los otros 3 grupos conforman el 88% (recordando que para la información relevada, no se contempla el grupo V). Entonces, se calculó que cada

casa va a generar 0,004 m³ y 1,4 kg por semana, que la casa principal va a generar 0,04 m³ y 14 kg por semana, y que la escuela va a generar 0,02 m³ y 7 kg por semana.

Las casas y la escuela tendrán tachos de color blanco, con etiqueta clara explicando el contenido y bolsas blancas para disponer los residuos generados de este grupo.

5.8.1.5. Generación de Grupo V

Los residuos del grupo V serán aquellos residuos generados por las plantas de tratamiento (barros), que a su vez podrán ser húmedos (previo a su deshidratación), o secos (luego de ser deshidratados). Solo aquellos barros secos serán dispuestos de manera final.

La PTAP genera 0,02 m³ por semana de barros húmedos que deberán ser trasladados al galpón de la PTEC para su deshidratación. Estos serán almacenados inicialmente en tambores grises de 20 litros. Luego, como ya se calculó antes, se sabe que se van a generar 0,025 m³ de barros secos por semana, correspondientes al galpón de la planta de tratamiento de efluentes cloacales. Estos se dispondrán directamente en tambores de 200 litros, de color marrón para su identificación.

5.8.2. Recolección

5.8.2.1. Equipos de recolección

La recolección de los grupos I a IV y de los barros generados en la PTAP se hará con el método de puerta a puerta, en alguna de las dos camionetas que posee la BACE, con dos personas encargadas para tal tarea. En la caja de las camionetas, se colocará una batea antiderrame donde se apoyarán las bolsas de residuos de las casas y los establecimientos, y el bidón de la PTAP, a fin de prevenir y contener cualquier derrame que pueda suceder.

La recolección de los barros secos del grupo V se realizará con el manipulador telescópico que posee la BACE, debido al peso de residuos generados de este tipo. Esta tarea también requerirá de dos personas.

Tanto las camionetas como el manipulador estarán guardados en el parque automotor.

5.8.2.2. Frecuencia de recolección

Los residuos del grupo I serán recolectados una vez por semana, tanto de las casas particulares como de la casa principal y de la escuela. Si bien se puede notar que los tachos de las casas tendrán capacidad extra, la recolección será semanal por una cuestión de putrefacción y olor de este tipo de residuos.

Los residuos del grupo II serán recolectados una vez por semana por la casa principal y por la escuela, mientras que para las casas particulares será una vez cada dos semanas, teniendo en cuenta la generación y la capacidad de los tachos.

Los residuos del grupo III serán recolectados una vez por semana, tanto por la enfermería como por el laboratorio.

Los residuos del grupo IV serán recolectados una vez cada cuatro semanas por las casas particulares, una vez por semana por la casa principal y una vez cada dos semanas por la escuela, considerando los volúmenes generados y las capacidades de los tachos.

Los residuos del grupo V serán recolectados una vez por semana por la PTAP, mientras que por la PTEC deberán ser recolectados una vez cada ocho semanas, dada la generación y la capacidad de los tambores. Como los residuos generados en la PTEC deben ser recolectados con el manipulador telescópico, se deberán hacer dos recorridos en el día, lo cual será posible debido a las cortas distancias.

De esta manera, se confeccionó la siguiente tabla para detallar qué residuos se recolectan cada semana, con ciclos de 8 semanas (es decir, cada 8 semanas se vuelve a la semana 1 de la tabla para saber qué residuos deben ser recolectados). Con una X se marcan los residuos que deben ser recolectados para la semana correspondiente (S1 = semana 1, y así sucesivamente).

Tabla 47. Frecuencia de recolección para todos los residuos

Residuos	Establecimiento	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Grupo I	Casa particular	X	X	X	X	X	X	X	X
	Casa principal	X	X	X	X	X	X	X	X
	Escuela	X	X	X	X	X	X	X	X

Grupo II	Casa particular		X		X		X		X
	Casa principal	X	X	X	X	X	X	X	X
	Escuela	X	X	X	X	X	X	X	X
Grupo III	Enfermería	X	X	X	X	X	X	X	X
	Laboratorio	X	X	X	X	X	X	X	X
Grupo IV	Casa particular				X				X
	Casa principal	X	X	X	X	X	X	X	X
	Escuela		X		X		X		X
Grupo V	PTAP	X	X	X	X	X	X	X	X
	PTEC								X

5.8.2.3. Rutas de recolección

Habiendo definido la frecuencia de recolección, se definieron las siguientes rutas. Para los residuos del grupo I a IV y los residuos húmedos del grupo V de la PTAP, la ruta efectuada por alguna de las camionetas será la siguiente.

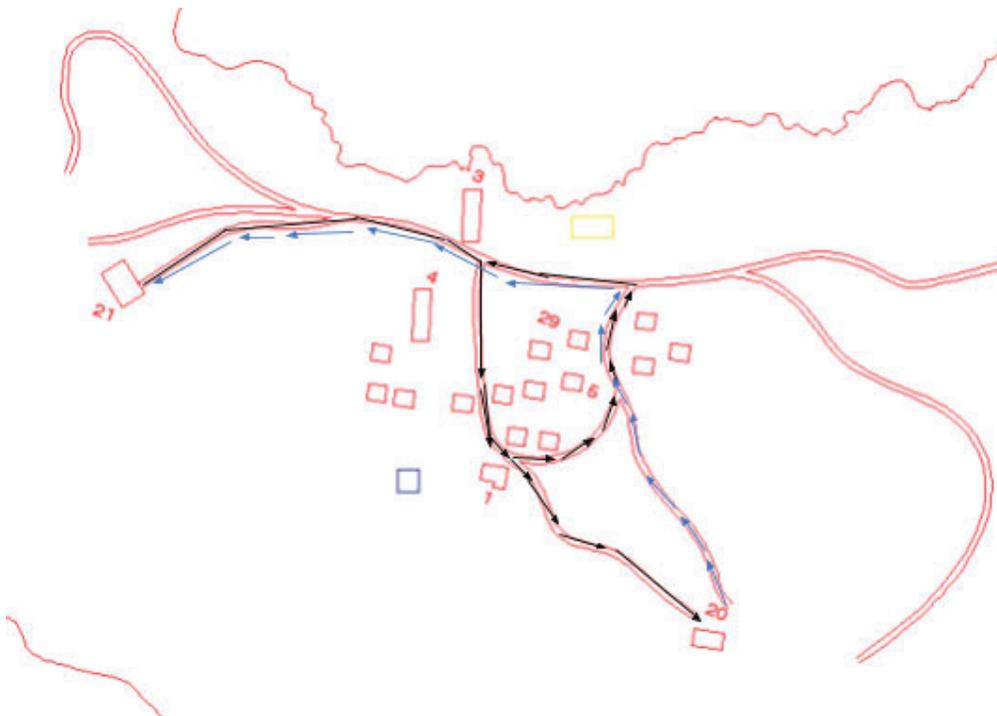


Imagen 26. Ruta de recolección de los residuos I a IV y V húmedos.

En negro, la ruta de ida. En azul, la ruta de vuelta.

Fuente: elaboración propia

Si bien no siempre se recolectan todos los residuos, ya sea en las casas o en la escuela, la ruta siempre debe incluir a todos estos establecimientos, ya que siempre hay mínimo un tipo de residuos que debe ser recolectado. Como se puede ver, hay un momento en que las flechas se bifurcan y marcan dos caminos. Esto es porque la camioneta pasará dos veces por ese punto. En la primera instancia, doblará de forma tal de recorrer la rotonda que rodea las casas. Luego, volviendo por el camino hacia el punto de bifurcación, seguirá derecho para dirigirse hacia la usina principal, a donde descargará los residuos recolectados.

Para los residuos del grupo V secos, generados en la PTEC, la ruta a recorrer por el manipulador telescópico será la siguiente.

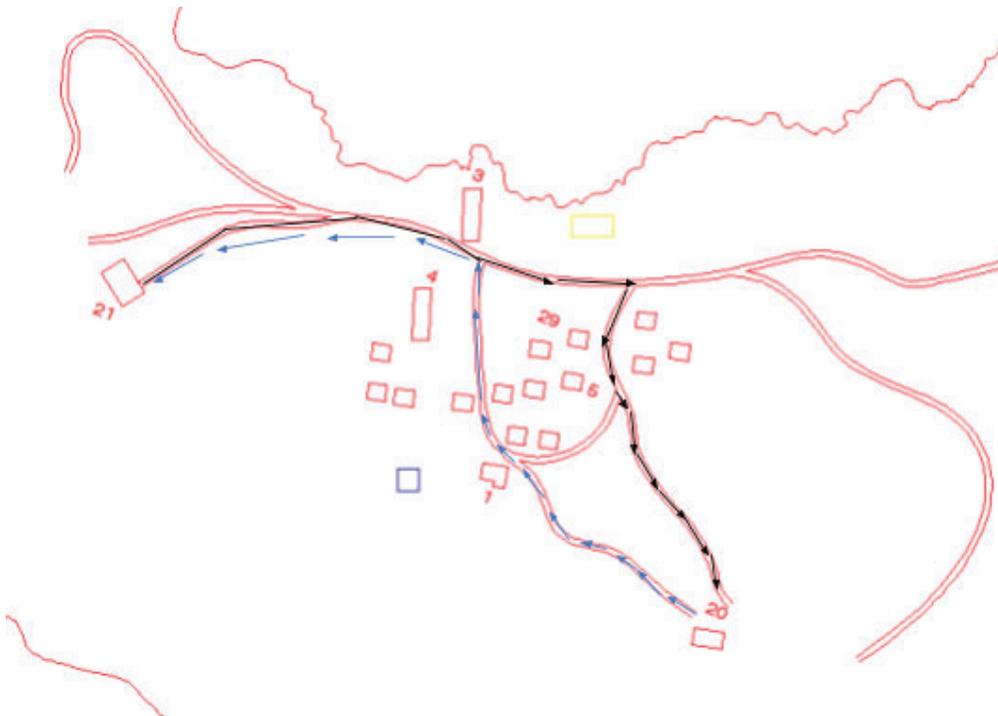


Imagen 27. Ruta de recolección de los residuos secos del grupo V.

En negro, la ruta de ida. En azul, la ruta de vuelta.

Fuente: elaboración propia

5.8.3. Almacenamiento

5.8.3.1. Tachos, bidones y tambores

Los tachos de 25 y 60 litros que tendrán las casas y los establecimientos serán obtenidos de la marca Colombraro, modelos 1925 y 189 respectivamente. Los bidones de 20 litros también serán de la marca Colombraro, modelo 9703 con canilla para descarga. Los tambores de 200 litros serán de la marca Affinity, modelo Strong con tapa hermética, de acero inoxidable.

Todos estos contenedores, además de sus respectivos colores, tendrán etiquetas identificatorias que indicarán el grupo de residuos y los tipos principales de residuos que pueden contener. El formato de las etiquetas será el siguiente.

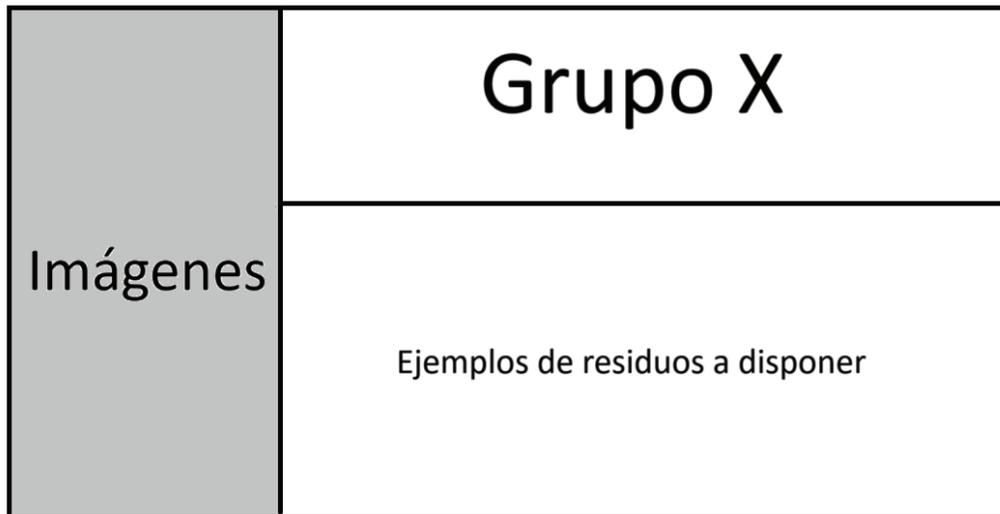


Imagen 28. Ejemplo de etiquetas clasificatorias de residuos

Fuente: elaboración propia.

En la imagen 28 se puede ver un ejemplo de lo que serán las etiquetas, donde X será el número de los residuos, y el color de fondo de las imágenes será del color identificatorio del grupo de residuos en cuestión. A continuación se muestra cómo quedará cada etiqueta para cada grupo.



Imagen 29. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo I.

Fuente: elaboración propia.

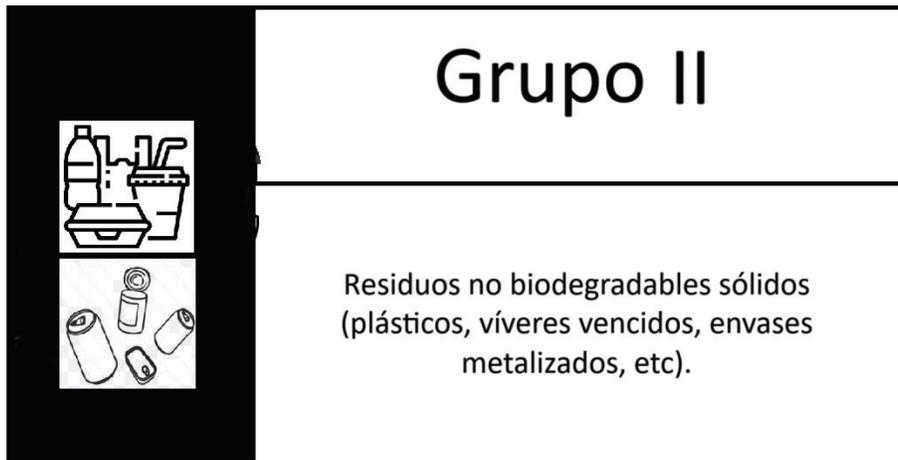


Imagen 30. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo II.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 31. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo III.

Fuente: elaboración propia.

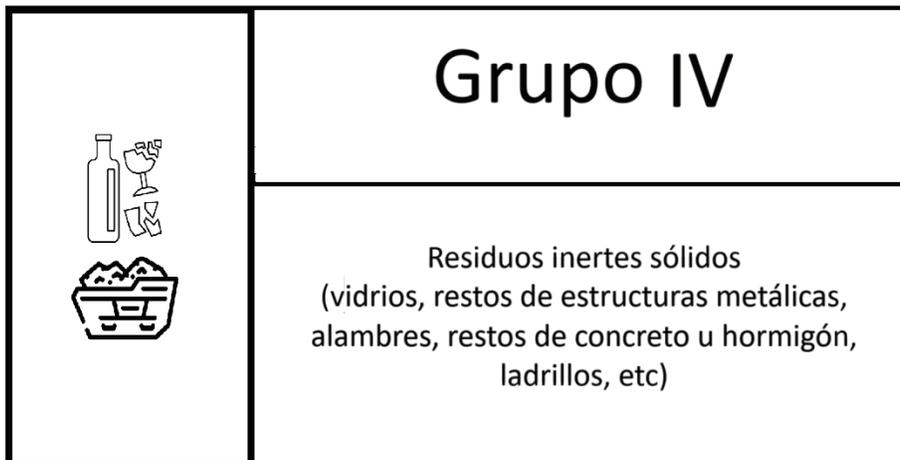


Imagen 32. Etiqueta identificatoria para los residuos del grupo IV.

Fuente: elaboración propia.

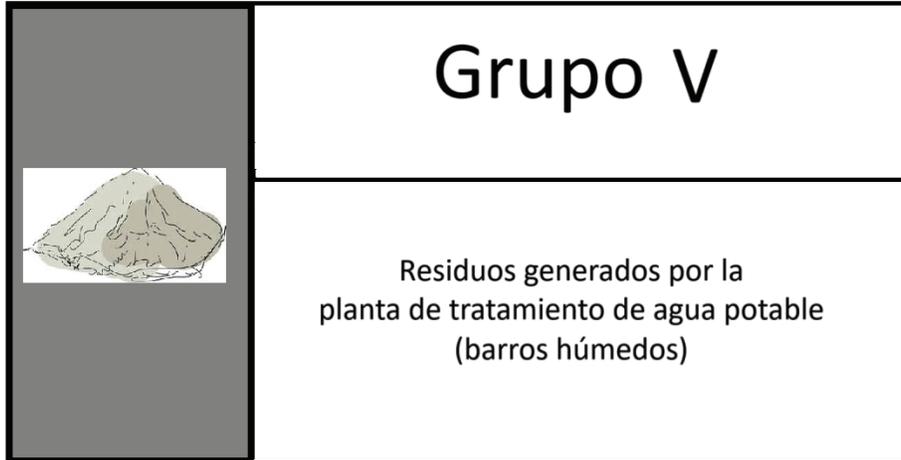


Imagen 33. Etiqueta identificatoria para los residuos húmedos del grupo V.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 34. Etiqueta identificatoria para los residuos secos del grupo V.

Fuente: elaboración propia.

5.8.3.2. Compactación

Para disminuir el volumen de los residuos generados y así minimizar los costos y las implicancias ambientales y económicas de su traslado y disposición, se contará con una prensa vertical (equipo de compactación de residuos) de la marca Capial Máquinas. Este equipo tiene la capacidad de compactar tambores de 200 litros, precisamente los utilizados, en un tiempo de 50 segundos, y reduce el volumen de los residuos aproximadamente 5 veces. Tiene un tamaño de 850 x 800 x 2600 mm, un peso de 760 kg. A continuación se puede ver una imagen del equipo.



Imagen 35. Prensa Vertical de Capial Máquinas.

Fuente: Capial Máquinas.

Teniendo en cuenta el volumen de los residuos generados ya calculado, y que este equipo tiene la capacidad de reducir aproximadamente 5 veces el volumen de los mismos, se obtuvo que a lo largo de una campaña (es decir, un año), se generarán aproximadamente 9 m³ de residuos que deberán ser trasladados a disposición final, en un total de 223 tambores compactados.

5.8.4. Transporte y disposición final

Los residuos serán almacenados en los tambores compactados en la usina principal hasta su transporte hacia el CEAMSE, como se ha definido previamente. Esto se realizará en el momento de recambio de personal de la BACE, lo cual sucede una vez por año, entre los meses de Enero y Marzo. En tal momento, los tambores serán trasladados mediante el manipulador telescópico hacia el Rompehielos Almirante Irizar, transporte por el cual se hace el recambio del personal y arriban las provisiones. Una vez cargados todos los tambores en el Rompehielos, serán trasladados hacia el Puerto de Buenos Aires, momento a partir del cual se encargará la empresa estatal CEAMSE de su disposición final.

6. Manual de Operaciones

El recambio anual de todo el personal de la BACE lleva a la necesidad de contar con un manual detallado de cómo operar las plantas, ya que si bien fue diseñada de la manera más automatizada posible, requiere de operaciones diarias y semanales. Estas tareas serán llevadas a cabo por personal que si bien estará capacitado para el uso y la operación de

este tipo de plantas y los químicos en cuestión, no tendrá quién lo capacite en las cuestiones particulares de la planta, ni contará con mucho tiempo de adaptación. A continuación se detallan los manuales de operación para las plantas de tratamiento de agua potable, de efluentes cloacales y de barros. Cada procedimiento se describió en tablas, especificando la actividad en cuestión, el desarrollo, los equipos involucrados, la frecuencia, y ciertos aspectos a tener en cuenta (puesto como observaciones). Para el control de los equipos se contará con tableros electrónicos y pantallas de PLC en cada planta.

6.1. Planta depuradora

El detalle de la operación de la planta depuradora se dividió en 4 etapas, a modo de simplificar su comprensión, las cuales son las siguientes: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

6.1.1. Pre-tratamiento

Tabla 48. Procedimiento de operaciones del pre-tratamiento de la PTEC

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
Ingreso de efluente cloacal	Canasta y tanque de bombeo	El efluente ingresa por gravedad. Los sólidos más gruesos se retienen en el tamiz. No requiere operación.	En continuo	Se debe revisar periódicamente que haya un ingreso apropiado de efluente cloacal. Caso contrario, se puede haber producido una falla en la red.
Limpieza de canasta	Tamiz, guantes	El operador deberá realizar una limpieza manual de la canasta, y enviar los residuos al tratamiento de lodos	Semanal	El operador podrá retirar la canasta para su limpieza en caso de ser necesario, y colocar la de back-up en su lugar

Ingreso de efluente a desengrasador	Desengrasador, bomba sumergible	El efluente es bombeado hacia la cámara desengrasadora. El operador deberá dejar la bomba en automático o apagada, según considere.	Diariamente	El operario puede regular el ingreso de efluente a la cámara desengrasadora con el encendido o apagado de la bomba.
Retiro de grasas	Desengrasador, bomba sumergible	El operador debe colocar una bomba sumergible en la capa de grasas, y bombearla hacia la unidad de tratamiento de lodos.	Cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo (se estima que será semanalmente)	La frecuencia será determinada según la observación
Ingreso de efluente a equalizador	Equalizador	El efluente pasa de la cámara desengrasadora al equalizador por gravedad	Diariamente	Verificar que la aireación en el equalizador sea correcta

6.1.2. Tratamiento primario

Tabla 49. Procedimiento de operaciones del tratamiento primario de la PTEC

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
Ingreso de efluente a	Equalizador	El efluente pasa de la cámara desengrasadora	Diariamente	Verificar que la aireación en el

ecualizador		al ecualizador por gravedad		ecualizador sea correcta
Ajuste de pH	Ecualizador, sensor de pH	El operario debe medir el pH del ecualizador. En caso de ser necesario, ajustar con agregado de ácido o base.	Diariamente	Mantener el pH en el rango óptimo de 6,5 - 8,5.
Ingreso del efluente al reactor biológico	Bomba sumergible	El efluente es bombeado al reactor biológico. Se debe regular el caudal y dejar la bomba trabajando en automático.	Diariamente	El operador debe verificar que el caudal de egreso sea el deseado.

6.1.3. Tratamiento secundario

Tabla 50. Procedimiento de operaciones del tratamiento secundario de la PTEC

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
Ingreso del efluente al reactor biológico	Reactor biológico (lodos activos)	El efluente ingresa al reactor biológico por bombeo.	Diariamente	Verificar que la aireación en el reactor sea correcta. Verificar la concentración y el estado de barro presente en el reactor.
Ingreso del efluente al sedimentador secundario	Sedimentador secundario	El efluente ingresa al sedimentador secundario por gravedad	Diariamente	

<p>Recirculación de barros</p>	<p>Reactor biológico, sedimentador secundario</p>	<p>Parte de los barros del sedimentador secundario son recirculados al reactor biológico con una bomba de forma automática. Mediante válvulas, el operador puede regular el caudal de recirculación.</p>	<p>Diariamente</p>	<p>El operador deberá hacer pruebas semanales para verificar que la concentración de barros en la recirculación sea la diseñada. Si se observa baja concentración de barros en el reactor, se abre la recirculación. Si se observa alta concentración de barros en el reactor, se restringe el caudal de recirculación.</p>
<p>Purga de barros</p>	<p>Sedimentador secundario</p>	<p>Con un juego de válvulas, el operador debe habilitar la cañería ubicada en el fondo del sedimentador para purgar los barros hacia la unidad de tratamiento de lodos, encendiendo la bomba correspondiente.</p>	<p>Semanalmente, o si detecta que los barros se ven viejos o muertos (se tornan de color más oscuro, se ven más finos y pueden aparecer en el clarificado)</p>	<p>El operador debe observar la salida, y cortar cuando comience a ver que se está purgando clarificado.</p>

6.1.4. Tratamiento terciario

Tabla 51. Procedimiento de operaciones del tratamiento terciario de la PTEC

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
Ingreso de efluente a filtro de carbón activado	Filtro de carbón activado	El clarificado resultante del sedimentador secundario ingresa al filtro de carbón activado por gravedad.	Diariamente	
Lavado de filtro de carbón activado	Filtro de carbón activado, manguera	Una vez por semana, se debe realizar una limpieza del filtro, colocando una manguera en la boca de llenado.	Semanalmente	
Tratamiento por luz UV	Cámara de luz UV	El efluente pasa por gravedad por la cámara de luz uv	Diariamente	Cambiar las lámparas de luz UV anualmente
Reuso/vuelco del efluente tratado	Tanque de almacenamiento	El efluente ingresa al tanque de almacenamiento por gravedad. De acá una parte es bombeada hacia las casas, mientras que el resto va hacia el vuelco final	Diariamente	El operador debe medir parámetros del agua tratada (pH, sólidos, etc.) y determinar si está apta para reuso. En caso contrario, debe restringir el reuso con el juego de válvulas.

6.2. Planta potabilizadora

El detalle de la operación de la planta potabilizadora se dividió en 2 etapas, a modo de simplificar su comprensión, las cuales son las siguientes: tratamiento primario y tratamiento terciario.

6.2.1. Tratamiento primario

Tabla 52. Procedimiento de operaciones del tratamiento primario de la PTAP

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
Ingreso del agua bombeada desde el lago y pruebas de Jar-Test	Bomba en laguna, material de laboratorio	El operador deberá tomar una muestra del agua que ingresa por la cañería y realizar pruebas de Jar-Test, para obtener las dosis de coagulante y floculante.	Diariamente	
Mezcla del agua del lago con el coagulante	Mezclador estático, bomba dosificador a	Se dosifica de forma automática coagulante a la cañería de ingreso y se mezcla con el agua en el mezclador estático. El operador debe preparar el coagulante a medida que se vaya utilizando, y regular la dosificación con los resultados obtenidos en las pruebas de Jar-Test.	Diariamente	
Ingreso del agua al tanque de floculación	Tanque de floculación, bomba dosificador a	Se dosifica de forma automática floculante en el tanque de floculación. El operador debe preparar y reponer el	Diariamente	

		floculante a medida que se vaya utilizando, y regular la dosificación con los resultados obtenidos en las pruebas de Jar-Test		
Ingreso del agua al sedimentador primario	Sedimentador primario	El efluente ingresa al sedimentador primario por gravedad	Diariamente	
Purga de barro	Sedimentador primario	Con un juego de válvulas, el operador debe habilitar la cañería ubicada en el fondo del sedimentador para purgar los barro hacia bidones	Semanalmente	El operador debe observar la salida, y cortar cuando comience a ver que se está purgando clarificado.
Filtración del agua	Filtro de arena	El agua clarificada resultante del sedimentador primario pasa por gravedad por el filtro de arena	Diariamente	
Lavado del filtro	Filtro de arena	El lavado del filtro se hará con agua, la cual se ingresa con la ayuda de una bomba a contracorriente. Mediante un juego de válvulas, el operador deberá dejar cerrada la salida normal del filtro, y comunicar la salida con la bomba que presuriza	Semanalmente	El agua de lavado deberá ser recolectada en bidones para ser tratada en la PTEC

		el agua limpia.		
--	--	-----------------	--	--

6.2.2. Tratamiento terciario

Tabla 53. Procedimiento de operaciones del tratamiento terciario de la PTAP

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
El agua filtrada ingresa al laberinto de cloración	Laberinto de cloración, bomba dosificadora	El agua filtrada ingresa al laberinto de cloración por gravedad. Se dosifica la dosis calculada de la solución de cloro automáticamente	Diariamente	El operador debe revisar la cantidad de solución de cloro presente en el bidón que abastece a la bomba dosificadora, y reponer cuando se esté por terminar.
Bombeo del agua potable hacia las casas	Laberinto de cloración, bomba periférica	El agua resultante del laberinto de cloración es bombeada automáticamente hacia la cañería de la red de distribución de agua potable, para dirigirse a las casas	Diariamente	El operador debe medir parámetros del agua (pH, sólidos, etc.) y verificar que esté potabilizada. En caso contrario, debe restringir el reuso con el juego de válvulas.

6.3. Tratamiento de lodos

El tratamiento de lodos se comprende de una sola etapa, el deshidratado por gravedad, de la siguiente manera.

Tabla 54. Procedimiento de operaciones del tratamiento de lodos

Actividad	Equipos	Desarrollo	Frecuencia	Observaciones
Ingreso de barros húmedos al equipo MDS-101	Espesador de lodos por gravedad (MDS-101)	Los barros generados en la PTEC son bombeados al equipo. Los barros generados en la PTAP guardados en bidones deberán ser ingresados manualmente por el operador.	Semanalmente	El operador deberá colocar un tambor a la salida del equipo para almacenar los lodos deshidratados

7. Cómputo y Presupuesto

En este capítulo se presentan los costos relacionados a la instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento y al consumo de las plantas de tratamiento, los galpones calefaccionados, la gestión de residuos y las redes de agua potable, cloacal y redistribución.

7.1. Inversión inicial

La inversión inicial del proyecto abarca la obtención de todos los materiales necesarios para realizar el proyecto. Esto incluye las unidades de tratamiento, los equipos, accesorios y reactivos requeridos. El precio de las unidades se cotiza sabiendo que serán construidas en hormigón, y que cada unidad tendrá, además de las dimensiones ya calculadas previamente, 5 cm de espesor. Además, se contempla la mano de obra capacitada para la construcción e instalación del proyecto. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 55. Costos de la inversión inicial de la PTAP.

Inversión inicial				
Planta de potabilización de agua (PTAP)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				

Ing. Jefe de obra	mes	3	1500	4500
Albañiles	mes	3	1200	3600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	3	1300	3900
Equipos y Materiales				
Mezclador estático	unidad	1	800	800
Tanque de floculación	m ³ hormigón	0,14	2170	303,8
Agitador mecánico	unidad	1	200	200
Sedimentador primario	m ³ hormigón	0,18	2170	390,6
Filtro de arena	m ³ hormigón	0,03	2170	65,1
Arena	m ³	0,015	160	2,4
Laberinto de cloración	m ³ hormigón	1	2170	2170
Accesorios				
Bomba dosificadora Grundfos coagulante	unidad	2	3130	6260
Bomba dosificadora Grundfos floculante	unidad	2	3130	6260
Bomba dosificadora Grundfos Cloro	unidad	2	3130	6260
Medidor de cloro Hanna Hi701	unidad	1	280	280
Subtotal (U\$D)				34991,9
Subtotal (pesos argentinos)				32682434,6

Tabla 56. Costos de la inversión inicial de la PTEC.

Inversión inicial				
Planta de tratamiento de efluentes cloacales (PTEC)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				
Ing. Jefe de obra	mes	3	1500	4500
Albañiles	mes	3	1200	3600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	3	1300	3900

Equipos y Materiales				
Canasto	unidad	2	50	100
Desengrasador	m³ hormigón	0,18	2170	390,6
Ecuallizador	m³ hormigón	0,52	2170	1128,4
Aireador sumergible Tsurumi 32TRN2.75	unidad	4	2300	9200
Reactor biológico	m³ hormigón	0,35	2170	759,5
Bomba de lodo triplex BW-250	unidad	2	5000	10000
Sedimentador secundario	m³ hormigón	0,3	2170	651
Filtro de carbón activado	unidad	1	1250	1250
Lámpara Pen-Ray 90-0012-01	unidad	2	392	784
Tanque de almacenamiento	m³ hormigón	0,45	2170	976,5
Accesorios				
Caño 75 mm	m	2	6	12
Codo 75 mm	unidad	3	5	15
T' 75 mm	unidad	3	5	15
Válvula esférica 75 mm	unidad	5	100	500
pHmetro Hanna Checker HI98103	unidad	1	200	200
Cono Imhoff	unidad	2	190	380
Medidor DQO HI 83214	unidad	1	1600	1600
Subtotal (U\$D)				39962
Subtotal (pesos argentinos)				37324508

Tabla 57. Costos de la inversión inicial de la Planta de lodos.

Inversión inicial				
Planta de tratamiento de lodos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				

Ing. Jefe de obra	mes	1	1500	1500
Albañiles	mes	1	1200	1200
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	1	1300	1300
Equipos				
MSD-101	unidad	1	15000	15000
Subtotal (U\$D)				19000
Subtotal (pesos argentinos)				17746000

Tabla 58. Costos de la inversión inicial de los galpones calefaccionados.

Inversión inicial				
Galpones calefaccionados				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				
Ing. Jefe de obra	mes	3	1500	4500
Albañiles	mes	3	1200	3600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	3	1300	3900
Materiales y accesorios				
Hormigón	m3	3,75	2170	8137,5
Tubería de polietileno 22 mm	m	300	0,2	60
Plástico de polietileno 0,3 mm	m2	75	60	4500
Poliestireno expandido 75 mm	m2	75	10	750
Arena	m3	7,5	160	1200
Bomba periférica Pluvius Qb60 1/2 HP	unidad	4	53	212
Subtotal (U\$D)				26859,5
Subtotal (pesos argentinos)				25086773

Tabla 59. Costos de la inversión inicial de la red de agua potable.

Inversión inicial				
Red de distribución de agua potable				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total

			(U\$D)	(U\$D)
Mano de obra				
Ing. Jefe de obra	mes	3	1500	4500
Albañiles	mes	3	1200	3600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	3	1300	3900
Equipos				
Bomba periférica 1 HP Pluvius Qb80	unidad	1	160	160
Materiales y Accesorios				
Caño 1/2 pulgada	m	85	18	1530
Cable calefactor 1/2 pulgada	m	85	10	850
Cable calefactor 1 pulgada	m	100	10	1000
Válvula de aire	unidad	1	75	75
Válvula de purga	unidad	2	75	150
Bloques de apoyo	unidad	85	20	1700
'T' 1/2 pulgada	unidad	1	6	6
Codo 90 1/2 pulgada	unidad	1	3	3
Subtotal (U\$D)				17474
Subtotal (pesos argentinos)				16320716

Tabla 60. Costos de la inversión inicial de la red de agua tratada.

Inversión inicial				
Red de distribución de agua tratada				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				
Ing. Jefe de obra	mes	3	1500	4500
Albañiles	mes	3	1200	3600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	3	1300	3900
Equipos				
Bomba periférica 1/2 HP Pluvius Qb60	Unidad	1	53	53

Materiales y Accesorios				
Caño 1/2 pulgada	m	113	18	2034
Válvula de aire	unidad	1	75	75
Válvula de purga	unidad	2	75	150
Bloques de apoyo	unidad	113	20	2260
'T' 1/2 pulgada	unidad	1	6	6
Codo 90 1/2 pulgada	unidad	2	3	6
Cable calefactor 1/2 pulgada	m	113	10	1130
Subtotal (U\$D)				17714
Subtotal (pesos argentinos)				16544876

Tabla 61. Costos de la inversión inicial de la red cloacal.

Inversión inicial				
Red cloacal				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				
Ing. Jefe de obra	mes	3	1500	4500
Albañiles	mes	3	1200	3600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	3	1300	3900
Materiales y Accesorios				
Caño 110 mm	m	200	6	1200
Bocas de registro	unidad	2	6	12
Bocas de ventilación	unidad	3	6	18
Codo 90 DN 110	unidad	2	4	8
Bloques de apoyo	unidad	200	20	4000
Cable calefactor 110 mm	m	200	10	2000
Subtotal (U\$D)				19238
Subtotal (pesos argentinos)				17968292

Tabla 62. Costos de la inversión inicial de la GIRSU.

Inversión inicial

Gestión de residuos (GIRSU)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				
Ing. Jefe de obra	mes	0,5	1500	750
Albañiles	mes	0,5	1200	600
Lic. en Seguridad e Higiene	mes	0,5	1300	650
Equipos				
Prensa Vertical de Copial Máquinas	unidad	1	10000	10000
Batea antiderrame	unidad	2	700	1400
Tambores	unidad	221	150	33150
Subtotal (U\$D)				46550
Subtotal (pesos argentinos)				43477700

Finalmente, sumando cada subtotal obtenido, se llegó a un costo total de la inversión inicial requerida para el proyecto de \$207151299 (221789 U\$D).

7.2. Operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento están relacionados con la mano de obra de quien va a operar las plantas, y los productos y reactivos utilizados para las tareas correspondientes. A continuación se presenta el detalle de los costos mensuales.

Tabla 63. Costos de la operación y mantenimiento del proyecto

Operación y mantenimiento				
Plantas de tratamiento				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (U\$D)	Precio total (U\$D)
Mano de obra				
Operación y mantenimiento	Personal	1	1500	1500,00
Insumos				
Coagulante	Botellas de 1L	10	4	40,00

Floculante	kg	15	3	45,00
Hipoclorito de sodio	Bidón de 10L	0,06	9,39	0,56
Subtotal (U\$D)				1585,56
Subtotal (pesos argentinos)				1480916,22

Como se muestra en la tabla, los costos mensuales de operación y mantenimiento representan un total de \$1480916,22 (1585,56 U\$D).

7.3. Costos energéticos

Ciertos equipos requieren de energía para funcionar. Por ende, se calculó el consumo mensual de cada equipo y se convirtió a litros de Gasoil Antártico (GOA), ya que es la manera de obtener la energía en la BACE. Luego, considerando el precio del GOA, el cual se supo por información de personal antártico que equivale a \$934 (1 U\$D), se obtuvo el costo energético mensual de la operación del proyecto, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 64. Costos energéticos del proyecto

Consumo eléctrico					
Descripción	Uso	Cantidad	Potencia (kW)	Horas	Consumo (kWh)
Bomba periférica 1 HP Pluvius Qb80	Red potable	1	0,75	24	18
Bomba periférica 1/2 HP Pluvius Qb60	Red de redistribución	1	0,37	24	8,88
Bomba dosificadora Grundfos coagulante	PTAP	1	0,019	24	0,456
Bomba dosificadora Grundfos floculante	PTAP	1	0,019	24	0,456
Bomba dosificadora Grundfos Cloro	PTAP	1	0,019	24	0,456
Agitador mecánico	PTAP	1	0,001	24	0,024
Aireador sumergible Tsurumi 32TRN2.75	PTEC	2	0,75	24	36

Bomba de lodo triplex BW-250	PTEC	1	15	2	30
Bomba sumergible	PTEC	2	0,25	24	12
Lámpara Pen-Ray 90-0012-01	PTEC	1	0,005	24	0,12
MSD-101	Planta de lodos	1	0,2	2	0,4
Bomba periférica 0,5 HP Pluvius Qb60	Galpones	2	0,37	24	17,76
Prensa Vertical de Capial Máquinas	GIRSU	1	5,6	0,1	0,56
Consumo mensual (kWh)					125,11
Equivalente en litros de Gas Oil Antártico (GOA)					833,25
Costos energéticos mensuales (U\$D)					833,25
Costos energéticos mensuales (pesos argentinos)					778251,69

Como se puede ver, la operación del proyecto en términos de consumo de energía implica unos \$778251,69 por mes (833,25 U\$D).

8. EIA

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) tiene como objetivo predecir, identificar, ponderar y corregir los posibles efectos ambientales que podrán causar las distintas acciones vinculadas a la ejecución del presente proyecto, considerando la construcción, la ejecución y el cierre de la misma. Con esto se busca determinar la factibilidad ambiental del proyecto, conforme a las normativas que aplican.

En el Artículo 8 del Protocolo se establece que las actividades a realizarse en la Antártida deben tener una evaluación previa del impacto sobre el medio ambiente antártico y en los ecosistemas dependientes y/o asociados. Se podrá iniciar la actividad una vez que se determine que la misma provocará menos que un impacto mínimo o transitorio.

8.1. Descripción del proyecto

El proyecto en cuestión, el cual se titula “Proyecto Ambiental en la Antártida: diseño de una planta de tratamiento de efluentes cloacales con tratamiento de contaminantes emergentes, planta potabilizadora y gestión integral de residuos para la Base Esperanza”,

tiene como objetivo principal garantizar el acceso a agua potable segura y de calidad, a una red cloacal con el correspondiente tratamiento y disposición del efluente cloacal, y un manejo cuidadoso y responsable de los residuos para toda la BACE. Para lograr esto, se propone el diseño de una red de agua potable y una planta de potabilización de agua, el diseño de una red cloacal y una planta de depuración del efluente, el diseño de una red de redistribución de parte del agua tratada, el diseño de dos galpones calefaccionados donde estará cada planta, y el diseño de una gestión integral de residuos.

El proyecto busca cubrir los servicios mencionados para un total de 17 establecimientos, siendo estos la Jefatura, la Casa Principal, una escuela, la enfermería, un laboratorio y el 12 restante son casas particulares. Además, se cuenta con un personal aproximado de 66 personas en invierno y 142 personas en verano, dependiendo del año y de la campaña antártica. Año tras año, el personal se recambia en su totalidad.

8.2. Caracterización ambiental del área

En esta sección se describe el entorno en el cual se encuentra el proyecto desde los aspectos de los distintos medios del ambiente, los cuales son el natural y el físico. Esto genera una Línea de Base que sirve como punto de partida para posteriormente evaluar los impactos que haya tenido el proyecto. En primer lugar, es necesario definir los límites del alcance del proyecto, y establecer las áreas de influencia, tanto directa como indirecta.

8.2.1. Área de influencia directa

El área de influencia directa del proyecto refiere al terreno asignado a la Base Antártica Conjunta Esperanza, que se comprende de 374.400 m² y abarca 43 construcciones edilicias.

8.2.2. Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta del proyecto se considerará que comprende a la Península Trinidad Antártica, al norte del continente Antártico.

8.2.3. Medio físico

8.2.3.1. Climatología

Las condiciones climáticas de la BACE se resumen en la tabla a continuación:

Tabla 65. Condiciones climáticas de la zona

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Anual
T máx abs (°C)	14,8	18,3	17,5	13,7	14	12,8	10,9	13	10,5	17	10,3	14,6	18,3
T máx media (°C)	3,1	2,6	-0,4	-3,4	-5,6	-6,6	-6,4	-6,2	-2,7	0,3	1,3	3,2	-1,7
T media (°C)	0,5	-0,5	-3,1	-7,3	-9,6	-10,9	-10,8	-10,5	-7	-3,6	-1,7	0,4	-5,3
T mín media (°C)	-1,8	-2,9	-6,4	-11,1	-13,4	-15,1	-15	-14,7	-11,1	-7,4	-4,6	-2,1	-8,8
T mín abs (°C)	-6,9	-12	-20,9	-26	-29,6	-30	-32,3	-31	-27	-23	-17,8	-8,9	-32,3
Precip total (mm)	56,2	65	75,5	59,1	54,4	47,4	54,1	72,1	62,2	56,4	65	59	726,4
Días de nevadas (≥ 1 mm)	16	15	16	16	14	13	14	14	16	15	16	16	181
Horas de sol	93	127,1	89,9	60	31	12	21,7	43,4	87	136,4	144	161,2	1006,7
Humedad relativa (%)	82	80	80	80	80	79	80	80	79	80	81	80	80,1

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (Argentina), NOAA.

Como se puede ver, la temperatura media anual es de -5,3 °C, con mínimas de -14,7 °C y máximas de 3,1 °C. El promedio de precipitaciones es de 60 mm por mes, y se han registrado vientos de más de 200 km/h.

8.2.3.2. Geología

La BACE se halla sobre la costa austral de la Bahía Esperanza, en el norte de la Península Trinidad (63°30'S, 57°00'O), situada en el extremo septentrional de la Península Antártica. En la Península Trinidad se han reconocido rocas ígneas del arco magmático de la península Antártica y estratos Mesozoicos de la Cuenca Larsen (Del Valle et al., 2001). Montes et al., en su estudio, reconocieron basamento metasedimentario asignado a la Formación Bahía Esperanza, (Grupo Península Trinidad) del Permo-Triásico, sedimentos continentales de la Formación Mount Flora, (G. Bahía Botánica) del Jurásico Inferior y rocas volcánicas silíceas sub aéreas de la Formación Kenney Glacier del Jurásico Medio (Gr. Volcánico Antarctic Peninsula). Esto se ve en la siguiente imagen.

muy gruesos de 10-15 m. En la parte superior de los estratos se observa bioturbación vertical, laminaciones onduladas y cruzadas, y restos de plantas (Montes et al., 2005).

Los afloramientos de la Formación Monte Flora se encuentran en la base y el flanco norte del Monte Flora, y nuevos afloramientos han sido exhumados al sur del Lago Boeckella. La F. Monte Flora se apoya en discordancia angular sobre la F. Bahía Esperanza, aunque esta discordancia no se ha observado directamente. La F. Monte Flora tiene un espesor de 367 m y se divide en dos unidades. La unidad 4 tiene 260 m de capas tabulares de conglomerados con cantos redondeados y clastos soportados del G. Península Trinidad. Estas capas gradan hasta areniscas de poco espesor, con un nivel continuo de areniscas gruesas hacia el NO. En la parte superior, hay dos niveles de rocas piroclásticas y tobas volcánicas de 15 y 25 m de espesor, que se acuñan hacia el NO hasta desaparecer. La mayoría de los nuevos afloramientos descubiertos pertenecen a esta unidad y exhiben unos 60 m de la serie conglomerática. La unidad 5 tiene 100 m de microconglomerados, areniscas y lutitas finamente laminadas con gradación normal y laminación cruzada en sucesiones de 1-3 m de espesor, con restos de plantas en sus techos. En la mitad de la serie, hay dos niveles de tobas estratificadas con un espesor conjunto de 20 m. Por encima de estos niveles, son comunes las areniscas finamente laminadas y carbonosas con restos paleobotánicos y niveles de areniscas con gravas y bases erosivas. La potencia de esta unidad disminuye hacia el oeste, registrando 60 m. Las fases de esta unidad están presentes en los nuevos afloramientos, aunque la serie fosilífera está muy tectonizada y pinzada entre fallas, conteniendo gran cantidad de restos de plantas (Montes et al., 2005).

La Formación Glaciar Kennedy aflora sobre los tramos arenosos y carbonosos de la formación anterior. Se observa una pequeña discordancia erosiva con una ligera angularidad entre capas al NO del Monte Flora. Se distinguen cuatro unidades volcánicas basadas en sus características de campo. Las unidades 6 y 8 son de color más claro y presentan una estratificación notable. Consisten en tobas, brechas y areniscas volcánicas con intercalaciones de ignimbritas oscuras. En la base de la unidad 6 hay una intercalación rojiza (6a) que destaca la discordancia basal del grupo volcánico, probablemente formada por el contacto térmico entre las lutitas negras subyacentes y los primeros depósitos volcánicos. La unidad 8 contiene una banda oscura (8a) visible en la cara oriental del Monte Flora, compuesta de limolitas volcánicas laminadas, ignimbritas oscuras y una colada lávica. Las unidades 7 y 9 son de tonalidad más oscura y menos estratificadas. Consisten en brechas, areniscas y limolitas volcánicas en secuencias rítmicas granodecrecientes decimétricas (Montes et al., 2005).

En cuanto al resto de las formaciones superficiales, se puede ver que la mitad del área libre de hielo está cubierta por detritos de actividad glaciar. Los depósitos morénicos (unidad 10) ocupan una amplia franja continua y potente, consistiendo en bloques sueltos, desorganizados y sin estructura. Las terrazas marinas (unidad 11), ubicadas en la costa oriental, tienen 2-3 m de espesor y están formadas por gravas rodadas con matriz arenosa y estructuras sedimentarias propias de flujos acuosos. Los depósitos fluvioglaciares (unidad 12) están formados por material morénico retrabajado y seleccionado de menor tamaño, arrastrado por arroyos de deshielo, similar a los conos aluviales proglaciares (unidad 13). Los depósitos de ladera (unidad 14) se encuentran en la costa septentrional y al pie del Monte Flora, donde la intensa gelifracción forma una imponente faja de derrubios alargada hacia el norte, formando conos de derrubios. Durante el verano, las morenas cercanas al Lago Boeckella están rodeadas por un cinturón de fango, resultado de la coalescencia de numerosos lóbulos de geliflucción (unidad 15).

8.2.3.3. Glaciología

Los glaciares se pueden clasificar dentro de nueve clases distintas (según Arigony-Neto & Bicca, 2019), según sus características. Estas clases son:

1. Cuencas de drenaje Inciertas o variadas,
2. Plataforma de hielo
3. Glaciar de roca
4. Glaciares y campo de nieve
5. Casquete glaciar
6. Campo de hielo
7. Glaciar de montaña
8. Glaciar de valle
9. Glaciar de descarga.

Prácticamente toda la región está cubierta por hielo glaciar y nieve permanente, salvo por algunas áreas pequeñas de roca expuesta. La península de Trinidad contaba con la plataforma de hielo Príncipe Gustavo como principal rasgo glaciológico a principio de los 70'. En las décadas de los 80 y 90 se observó un fuerte retroceso, resultando en la desintegración de dicha plataforma de hielo. El resto de la costa oriental en la zona del mapa presenta características como paredes de hielo, algunas pequeñas plataformas de hielo y numerosos glaciares de salida (Ferrigno et al., 2006).

8.2.3.4. Suelos, Permafrost y Hielo subterráneo

Para entender la importancia de la presencia de hielo y permafrost, cabe destacar que más del 98% de la península Antártica está cubierta por hielo. En cuanto a las áreas descubiertas de hielo, se cuenta con poca información sobre datos geocriológicos y paleoglaciológicos de la historia medioambiental de la zona del permafrost y del clima. Los sectores descubiertos de hielo son lugares clave para el estudio de las condiciones de la formación de permafrost y los procesos criogénicos.

Los datos climáticos de la península Antártica muestran condiciones favorables para la formación y conservación del permafrost, con una evidente asimetría criogénica Este-Oeste. La parte superior del permafrost presenta un manto de suelo activo, superficial, semi-permanentemente descongelado, sujeto a las pulsaciones hielo-deshielo estival. El desarrollo de la capa activa y la formación de los hielos en el periodo de congelamiento estacional están condicionados por los parámetros climáticos y diferentes tipos de suelos relacionados con sistemas hídricos superficiales y el agua supra permafrost. Según el monitoreo de los procesos de congelamiento–descongelamiento estacional el espesor de la capa activa y el régimen térmico de los suelos superficiales del permafrost es muy variable dependiendo de las condiciones medioambientales de cada sitio. Según estudios, Esperanza tendría la base del permafrost a unos 100-120 m (Silva Busso et al., 2009).

8.2.3.5. Limnología

La mayoría de los cuerpos de agua antárticos reciben el aporte de los glaciares y de las precipitaciones, principalmente en forma de nieve. Se le llama lagos a aquellos cuerpos de agua que no se congelan en su totalidad durante el invierno, sino que siempre tienen una columna de agua por debajo de la capa de hielo que se forma. En cambio, se le llama lagunas antárticas a los cuerpos de agua que si se congelan completamente. Por ende, Boeckella recibe la categorización de lago.

Los cuerpos de agua se pueden diferenciar según el grado de influencia de fauna marina que les afecta. Se los categoriza en oligotróficos, cuando se encuentran lejos de zonas de actividad animal. Sus aguas son más transparentes, tienen una baja concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y la biomasa del fitoplancton es relativamente menor, aunque las algas adheridas al fondo suelen ser muy abundantes. Por el otro lado, los cuerpos de agua próximos a zonas de nidificación o que son frecuentados por animales, tienden a eutrofizarse por el ingreso de nutrientes, ya sea en forma directa o por escurrimiento superficial. Estos lagos son más turbios y tienen un mayor desarrollo de

algas fitoplanctónicas, mientras que las algas bentónicas pueden estar limitadas por la disponibilidad de luz que les llega (Pizarro et al., 2009). El Lago Boeckella, por su proximidad con la pingüinera, tiende más a estas últimas características mencionadas.

Otro tipo de cuerpo de agua presente en el continente antártico son los cuerpos de agua lóticos, comúnmente denominados arroyos. Pueden ser de distintos tipos, según de donde provengan. Están los arroyos de origen glaciar, que el agua es aportada por el deshielo de los glaciares. Y también están los efluentes de lagos o lagunas, que se dan cuando tales cuerpos confluyen sus aguas hacia otro cuerpo, como por ejemplo el mar. Este último es el caso del chorrillo Prasiola. Estos cuerpos suelen presentar una cuenca bien formada, producto de años de erosión y modelado del paisaje (Pizarro et al., 2009).

8.2.4. Medio biológico

8.2.4.1. Fauna

Cerca del Lago Boeckella de la Bahía Esperanza, se encuentra una colonia de pingüinos Adelia, ubicada cerca de la base y que se extiende por aproximadamente 3 km, siendo la mayor de esta especie en toda la península Antártica. Representa así el único componente relevante en términos de fauna y flora del área en cuestión.

8.2.4.2. Flora

En el continente antártico hay presencia de musgos, líquenes y gramíneas, que representan la vegetación más avanzada en la Antártida (Sancho et al, 2011).

8.2.5. Medio socioeconómico

Según el censo realizado en el año 2010, en la BACE había 66 personas en invierno, incluyendo 9 familias con 16 niños, y 142 personas en verano. Sin embargo, la dotación de personal de cada campaña antártica puede variar año a año. La mayoría de las personas son personal del Comando Conjunto Antártico, organismo que se encuentra bajo dependencia de las Fuerzas Armadas de la Nación.

La BACE cuenta con 12 viviendas, y servicios de postal del Correo Argentino, servicio telefónico (DDI y DDN) e Internet. Las actividades realizadas son principalmente de logística, y también hay investigación de diversas temáticas.

8.2.6. Cambio Climático

Las mediciones instrumentales revelan un rápido calentamiento regional reciente, destacando un marcado contraste entre el oeste (mayor calentamiento) y el este (menor calentamiento) del continente antártico (siendo el área de estudio parte de la zona con mayor calentamiento). Este fenómeno se refleja en registros indirectos como el aumento en las tasas de acumulación de sedimentos en algunas zonas del área de estudio, así como en núcleos lacustres y marinos de alta resolución. Por ejemplo, estudios han registrado un incremento significativo en la temperatura del aire, más días sin hielo y un aumento considerable en la producción de clorofila en los lagos. Aunque los registros indirectos han recibido menos atención para este período, sugieren que las condiciones climáticas empeoraron después del Holoceno Medio, posiblemente asociado con la Pequeña Edad de Hielo. Recientemente, se ha observado un acelerado calentamiento climático en varias regiones del área de estudio, con evidencias como el retroceso de frentes glaciares (Cook et al., 2005).

8.2.7. Estabilidad del Permafrost

La dinámica del permafrost resulta de suma importancia, dado que las instalaciones en la Antártida se suelen asentar por debajo de la capa activa de permafrost. Su dinámica (y su estabilidad) está relacionada a distintos factores climáticos, como la temperatura del aire, el viento, etc), y con distintas características del suelo, como el relieve, la vegetación, etc). Por ende, posibles cambios climáticos implican posibles riesgos para la infraestructura, por lo que es necesario tener en consideración para analizar proyectos de este tipo.

Según estudios, El deshielo del suelo puede provocar hundimientos de 15.000 km² de las regiones libres de hielo en la Antártida (Turner et al., 2009), efecto conocido como termokarst. Además, se espera que la superficie total de suelo libre de hielo en la Antártida aumente en los futuros escenarios climáticos hasta un 25% de aquí a 2098 (Lee et al., 2017).

8.3. Identificación y valoración de impactos

Con el objetivo de representar de manera simple las interacciones de las distintas acciones del proyecto con los componentes de los medios ya mencionados, se construye una matriz en donde se plasman las acciones en filas, y los componentes en columnas. Esto permite identificar y valorar los posibles impactos ambientales que puedan llegar a tener las acciones en los componentes.

8.3.1. Acciones del proyecto

En primer lugar, se relevan las acciones del proyecto que pueden llegar a tener un impacto en los componentes.

8.3.1.1. Etapa constructiva

- **Preparación del terreno:** implica tareas como la limpieza y el acondicionamiento del terreno. En este proyecto, puede implicar el movimiento de nieve o bloques de hielo. Esta actividad puede implicar la resuspensión de material particulado presente en el suelo.
- **Transporte de maquinarias:** ciertos equipos y materiales necesarios para la puesta en marcha del proyecto serán trasladados en el comienzo de la campaña antártica, cuando se efectúa el reabastecimiento de provisiones. Esto podrá generar mayores niveles de ruido a la hora de la descarga y la generación de gases por el uso de las camionetas y el manipulador telescópico.
- **Implantación de la infraestructura:** refiere a la instalación de las plantas y las redes de distribución. Se espera un aumento en la generación de ruido, y la posibilidad de resuspender material particulado presente en el suelo.

8.3.1.2. Etapa operativa

- **Operación de las plantas de tratamiento:** la operación de las plantas garantizará una buena calidad del agua, tanto para su consumo como para su disposición final. Esto mejorará la salud de las personas y la calidad del agua del cuerpo receptor. Sin embargo, la operación de las plantas conlleva el uso de químicos, los cuales pueden generar gases nocivos para la calidad del aire y para la salud. El uso de bombas y aireadores tendrá asociada una generación de ruido.
- **Operación de las redes de distribución:** la planta potabilizadora implica en primer lugar la obtención del agua, lo cual afecta en la capacidad de recarga del cuerpo de donde se extrae. En cuanto a la cobertura de servicios, se espera una mejora tanto para la distribución de agua potable como para la recolección de los efluentes cloacales. Además, asegurar la provisión de agua potable de calidad traerá beneficios para la salud de las personas.
- **Gestión de los residuos:** una correcta gestión de residuos podrá asegurar una mejor calidad del ambiente, al evitar pérdidas o derrames de residuos contaminantes en el suelo y en el agua, y al evitar la generación de olores o gases tóxicos que afecten la calidad del aire.

Todas estas acciones podrán implicar un aumento en el empleo, en caso de que se considere sumar al equipo de la campaña antártica personal especializado para realizar dichas tareas.

8.3.2. Factores ambientales

Se relevan los componentes de los medios que pueden verse afectados por las acciones del proyecto.

8.3.2.1. Medio físico

Dentro del medio físico, se encuentran los siguientes componentes:

- **Aire:** tanto la emisión de gases o material particulado, como la generación de ruidos ocasionados por las actividades del proyecto podrán afectar al aire y la atmósfera
- **Suelo:** la preparación del terreno implica generar cambios que podrán afectar negativamente en la calidad, alterando el relieve y drenaje natural. Otros posibles impactos podrán ser ocasionados por la correcta disposición de residuos o la descarga de efluentes que afecten, de manera positiva, la calidad del suelo.
- **Agua superficial:** podría verse afectada de manera positiva por la generación de efluentes cloacales debidamente tratados. La explotación para la obtención de agua potable podrá tener impactos también en este factor. La reutilización de agua podrá tener un efecto positivo en este sentido.

8.3.2.2. Medio biológico

Los componentes del medio biológico se detallan a continuación:

- **Flora:** se esperan impactos negativos, teniendo en cuenta que el área cuenta con flora escasa que puede ser afectada por el cambio en el terreno.
- **Fauna:** las actividades del proyecto pueden afectar a la fauna relevada, por la generación de ruido.

8.3.2.3. Medio socioeconómico

En cuanto al medio socioeconómico, los componentes son los siguientes:

- **Empleo:** el proyecto podrá generar un aumento en los puestos de trabajo, en caso que se incorpore personal extra para encargarse de las tareas de operación.

- **Salud:** la generación de ruidos y la emisiones de gases y material particulado podrán afectar la salud del personal de la BACE. Además, el uso de las máquinas podrá afectar la salud de los trabajadores en caso de accidentes. Asegurar una buena calidad y abastecimiento de agua potable podrá mejorar la salud de las personas. Además, una correcta gestión de los residuos podrá ayudar a proteger la salud de las personas, al evitar su contacto con gases tóxicos o derrames peligrosos.
- **Servicios:** la instalación de las redes de agua potable, redistribución de agua y recolección de efluentes cloacales implicará un aumento en los servicios de la BACE y una mejora de su calidad.

8.3.3. Metodología

Luego de identificar los componentes de los medios y las acciones del proyecto posibles de generar impactos en dichos componentes, se realiza la matriz de impactos ambientales. En dicha matriz se encuentran los medios en las columnas, y las acciones en las filas. Para caracterizar y valorar los impactos, en las casillas se expresa numéricamente la Importancia (I) del impacto que tendrá la acción en el componente (también llamado factor), el cual resulta de la siguiente ecuación:

$$I = + / - (3 IN + 2 EX + MO + PE + RE + EF + RC + PR + SI + AC)$$

(Ecuación 56)

en donde los términos son los siguientes parámetros:

- **Signo (+/-):** el signo será positivo en caso de que se trate de un impacto que sea beneficioso para el factor ambiental. En caso contrario, un impacto perjudicial tendrá un signo negativo
- **Intensidad (IN):** indica el grado en que se verá afectado el factor. Puede tener un valor entre 1 y 12, siendo 1 la afectación mínima, y 12 una afectación total.
- **Extensión (EX):** es una medida del área de influencia del impacto. Puede tener valores entre 1 y 10, donde 1 refiere a un área puntual, 8 un área total y 10 (crítica) si se trata de sitios de alta importancia a nivel ecológico.
- **Momento (MO):** es un valor que hace referencia al tiempo que ocurre desde que comienza la acción hasta que aparece el impacto. Tiene valores entre 1 y 8, donde 1 corresponde a un largo periodo de tiempo (más de 5 años), 4

corresponde a un tiempo inmediato y 8 si es nulo y por ende considerado crítico.

- **Persistencia (PE):** se asigna un valor según el tiempo que dura el impacto una vez generado. En caso de que dure menos de un año, es considerado fugaz y recibe un valor de 1. Si dura entre 1 y 10 años, se considera temporal y se le otorga un valor de 2, y si supera los 10 años se considera permanente y se le asigna un valor de 4.
- **Reversibilidad (RE):** indica la capacidad de recuperarse del impacto por acción natural. Tiene un valor de 1 si es reversible en el corto plazo (menos de 2 años), de 2 si es en el mediano plazo (entre 2 y 10 años), y de 4 si es irreversible.
- **Efecto (EF):** se refiere a si el impacto es directo o indirecto.
- **Recuperabilidad (RC):** indica la capacidad de recuperar las condiciones iniciales del factor previas al impacto por acción humana. Tiene valores entre 1 y 10, siendo 1 si se puede recuperar inmediatamente, y 10 si es irrecuperable.
- **Periodicidad (PR):** marca la tendencia a repetirse con el transcurso del tiempo.
- **Sinergia (SI):** indica si el impacto se ve potenciado con otro.
- **Acumulacion (AC):** se le asigna un valor según si los efectos aumentan progresivamente.

Los posibles valores para cada parámetro se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 66. Valores para cada parámetro según su clasificación.

Parámetro	Valores				
Signo	+		-		
Intensidad (IN)	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total
	1	2	4	8	12
Extensión (EX)	Puntual		Extenso	Crítico	
	1		4	8	
	Largo plazo	Mediano plazo	Inmediato	Crítico	

Momento (MO)	1	2	4	8
Persistencia (PE)	Fugaz		Temporal	Permanente
	1		2	4
Reversibilidad (RE)	Corto plazo		Mediano plazo	Irreversible
	1		2	4
Efecto (EF)	Indirecto		Directo	
	1		4	
Recuperabilidad (RC)	Inmediatamente	Mediano plazo	Mitigable	Irrecuperable
	1	2	8	10
Periodicidad (PR)	Irregular	Periodico	Continuo	
	1	2	4	
Sinergia (SI)	Sin sinergismo	Sinérgico	Muy sinérgico	
	1	2	4	
Acumulacion (AC)	Simple		Acumulativo	
	1		4	

Otra manera de expresar los resultados, en vez de la forma numérica, es con colores, lo cual puede hacerlo más fácil visualmente. Las referencias son las siguientes.

Tabla 67. Asignación de colores según el nivel de impacto.

Tipo de Impacto	Cuantificación numérica	Color
Positivos	Mayor a 0	
Irrelevante	Mayor a -25	
Moderado	Entre -25 y -50	
Severo	Entre -50 y -75	
Crítico	Menor a -75	

Fuente: Cátedra Evaluación de Impacto Ambiental, cursada 2021, UNSAM.

De esta manera se procedió a confeccionar la matriz de impactos ambientales, la cual se muestra en la siguiente sección con los resultados obtenidos. Cabe aclarar que en los casos en los cuales no haya interacción entre el factor y la actividad, las casillas se dejan en blanco.

8.3.4. Matriz de impactos ambientales

La matriz de impactos ambientales obtenida con el método ya explicado es la siguiente.

Tabla 68. Matriz de impactos ambientales

Etapas	Actividad	Componentes Ambientales								Suma
		Medio Físico			Medio Biológico		Medio Socioeconómico			
		Atmosfera		Agua	Suelo	Fauna	Flora	Empleo	Salud	
		Calidad del aire	Ruido	Superficial	Calidad					
Constructiva	Preparación del terreno	-24			-27	-26	-29			-106
	Transporte de maquinarias	-24	-29			-26	-29			-108
	Instalación de infraestructura	-30	-47			-26	-29	27		-105
Operativa	Operación de las plantas de tratamiento	-20	-26	54				27	38	73
	Operación de las redes de distribución								38	38
	Gestión de los residuos	36		33	42			27	36	174
Suma		-62	-102	87	15	-78	-87	81	112	

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver en la matriz, en la etapa constructiva la mayoría de los impactos son negativos, siendo los factores más afectados de manera negativa la fauna y la flora, y luego el ruido y la calidad del aire, con la instalación de la infraestructura como la actividad principal que genera tales impactos. A su vez, se puede ver que esta etapa afecta positivamente en términos de empleo.

En la etapa operativa se puede notar que la mayoría de los impactos son positivos, principalmente sobre la salud y la calidad del agua superficial. Además, se afecta positivamente la calidad del suelo y el empleo.

En el Anexo VII se muestran los cálculos realizados para obtener tales resultados.

8.4. Análisis de riesgos

En esta sección se realizará un análisis de riesgos, que es el estudio de las causas de las posibles amenazas existentes, y con esto las consecuencias que puedan generar y los respectivos daños. Para esto, se tendrán en cuenta dos factores, la probabilidad de que ocurra un daño, es decir, la certidumbre (C), y la magnitud del mismo (M). Esto permite sistematizar el análisis mediante una matriz de evaluación de riesgos. Los posibles valores de cada variables son los siguientes.

Tabla 69. Posibles valores para el grado de certidumbre (C).

Grado de certidumbre	Valor
Poco probable	0,2
Ocasional	0,5
Altamente probable	1

Fuente: elaboración propia

Tabla 70. Posibles valores para la magnitud del daño (M).

Magnitud	Valor
Baja	1
Media	2
Alta	4

Fuente: elaboración propia

Luego, el valor del Riesgo (R) saldrá del producto de ambos parámetros. Los riesgos serán considerados aceptables, siempre y cuando tengan un valor menor o igual a 0,8 puntos, tolerables, cuando tengan un valor entre 0,8 y 2 puntos, e inaceptables, cuando su valor sea mayor a 2 puntos. Esto permitirá detectar los incidentes de mayor importancia, a la cual se les dará prioridad a la hora de pensar planes de contingencias. De esta manera, se confeccionó la siguiente tabla con los posibles riesgos relevados y sus valores.

Tabla 71. Cuantificación y Clasificación de los riesgos

Riesgo	Certidumbre	Magnitud	Valor	Clasificación
--------	-------------	----------	-------	---------------

Fallas estructurales	0,2	4	0,8	Aceptable
Fallas en equipos	0,5	2	1	Tolerable
Tratamientos deficientes	0,2	4	0,8	Aceptable
Vientos fuertes	0,5	1	0,5	Aceptable
Nevadas	1	1	1	Tolerable
Cortes de luz	0,2	4	0,8	Aceptable

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver, existen dos riesgos que son considerados como tolerables, mientras que cuatro son aceptables.

8.5. Plan de gestión ambiental y social

Una vez relevados los impactos, valorizados y cuantificados, junto al análisis de riesgos, se procede a confeccionar el plan de gestión ambiental y social, el cual se comprende de los planes de mitigación, seguimiento y monitoreo, y contingencias. Su objetivo es establecer y definir las medidas ambientales necesarias a tomar para disminuir o prevenir los impactos que tienen las actividades del proyecto sobre los factores del área de influencia.

8.5.1. Plan de mitigación

En la presente sección se plantean una serie de distintas medidas de mitigación para los impactos negativos previamente identificados, con el objetivo de prevenir, minimizar y/o corregir tales impactos. Considerando los impactos ya relevados, se establecen las siguientes medidas, que se piensan para cada componente afectado, y para las cuales se definen el impacto a mitigar, la etapa y la acción en la cual se efectúa el impacto, el tipo de medida, el objetivo, una descripción y el seguimiento de control.

Tabla 72. Medida de mitigación N°1.

Componente	Atmósfera - Ruido
-------------------	-------------------

Impacto	Generación de ruido
Etapa	Operativa
Acción	Operación de las plantas de tratamiento
Objetivo	Disminuir la generación de ruido y el impacto sobre el operario y las personas de la BACE
Descripción	<p>El operario deberá revisar periódicamente el estado de las bombas y demás equipos que puedan generar ruido por falta de mantenimiento.</p> <p>El operario deberá usar los equipos de protección personal adecuados</p>
Seguimiento	Medición semanal de niveles de ruido. Control semanal del estado de los EPP.

Tabla 73. Medida de mitigación N°2.

Componente	Atmósfera - Ruido
Impacto	Generación de ruido
Etapa	Constructiva
Acción	Transporte de maquinarias, Instalación de infraestructura
Objetivo	Disminuir la generación de ruido y el impacto sobre el personal de la BACE
Descripción	<p>Se verificará usar equipos en buen estado y hacerles acciones correctivas y preventivas de mantenimiento, a fin de que generen el menor ruido posible.</p> <p>Se deberán utilizar los equipos de protección personal apropiados.</p>
Seguimiento	Medición semanal de niveles de ruido. Control semanal del estado de los EPP.

Tabla 74. Medida de mitigación N°3.

Componente	Atmósfera - Calidad del aire
Impacto	Emisión de contaminantes gaseosos y material particulado
Etapa	Operativa
Acción	Operación de las plantas de tratamiento
Objetivo	Reducir la emisión de gases tóxicos.y su exposición al personal
Descripción	<p>El operario deberá manipular con las debidas precauciones los reactivos químicos que puedan generar, utilizando los equipos de protección personal apropiados.</p> <p>El operario deberá asegurar que los reactivos estén almacenados de forma apropiada, a fin de reducir o eliminar la emisión de gases.</p>
Seguimiento	Control semanal de la condición de almacenamiento de los reactivos. Control semanal del estado de los EPP.

Tabla 75. Medida de mitigación N°4.

Componente	Atmósfera - Calidad del aire
Impacto	Emisión de contaminantes gaseosos y material particulado
Etapa	Constructiva
Acción	Preparación del terreno, Transporte de maquinarias, Instalación de infraestructura
Objetivo	Reducir la emisión de gases y de polvo.
Descripción	Se evitará trabajar en días de vientos fuertes, para no favorecer la dispersión de posible material particulado presente en el suelo, ni los gases generados por los equipos.

	Se verificará que los equipos estén en buen estado, y se hará un mantenimiento a los mismos a fin de prevenir combustiones incompletas o excesivas, o pérdidas.
Seguimiento	Control semanal del estado de los equipos.

Tabla 76. Medida de mitigación N°5.

Componente	Calidad del suelo
Impacto	Modificación del terreno
Etapas	Constructiva
Acción	Preparación del terreno
Objetivo	Evitar la modificación del relieve y del drenaje natural del terreno
Descripción	<p>Afectar el mínimo de la superficie necesaria, evitar la formación de montañas de nieve o de hielo, nivelar lo menos posible el terreno.</p> <p>Evitar circular y trabajar por áreas que no hayan sido ya alteradas por previo uso. Evitar áreas que tengan algún grado de vegetación.</p>
Seguimiento	Verificación inicial del estado del terreno y de las áreas delimitadas para uso.

8.5.2. Plan de seguimiento y monitoreo

En orden de verificar y comprobar el estado y funcionamiento de las distintas etapas del proyecto, se realizarán mediciones de distintos parámetros de interés.

Para la planta potabilizadora, se medirán los siguientes parámetros de la siguiente manera:

- Cloro: mediante el equipo colorímetro Hanna Hi701, de manera diaria.
- Coliformes Totales y E. Coli: mediante la técnica de Número Más Probable, una vez a la semana.

Para la planta cloacal, se medirán los siguientes parámetros de la siguiente manera:

- DQO: mediante colorimetría, según el método SM 23rd 5220 D, de forma semanal.
- pH: mediante pHmetro portátil Hanna Checker HI98103, de forma periódica.
- SS20' y SS2h: mediante método gravimétrico, de manera diaria.

El nivel de ruido en las distintas acciones del proyecto se medirá con el equipo Testo 816-1, de forma semanal.

En cuanto a la calidad del aire, se medirán los siguientes parámetros de manera mensual, de la siguiente forma:

- CO: según NIOSH (NMAM) 6604
- NO₂: según ASTM D-3608-95
- PM₁₀: según EPA IO-2.1

8.5.3. Plan de contingencias

Para aquellos riesgos que se detectaron como tolerables, se proponen las siguientes acciones a fin de garantizar la integridad del proyecto, la salud de las personas y el cuidado del ambiente.

- Se identificarán aquellos equipos que sean críticos para el funcionamiento de las plantas, y se contará con equipos de repuesto.
- Para los días de vientos fuertes o nevadas, en los que las actividades se vuelvan riesgosas pero deban ser llevadas a cabo, se utilizará equipo que proporcione seguridad en estas condiciones, y se trabajará mínimo de a dos personas.

8.6. Conclusiones

Se relevaron los distintos tipos de impactos que tienen las acciones que comprenden al proyecto, ya sea positivos como negativos, en los distintos factores que comprenden al ambiente de área de influencia en donde se llevará a cabo el proyecto.

Se elaboró un Plan de Gestión Ambiental, que se comprende de un Plan de mitigación, un Plan de seguimiento y monitoreo, y un Plan de contingencias. Este plan abarca las acciones que se deberán tomar para lograr minimizar y evitar los impactos negativos principales que se relevaron, así como los principales riesgos.

Acorde a los lineamientos definidos por la normativa ambiental de aplicación, y viendo y considerando la evaluación de impacto ambiental realizada, se concluye que el proyecto es ambientalmente viable.

9. Conclusiones

Este proyecto aborda la necesidad de garantizar el acceso a agua potable, a una recolección de los efluentes cloacales y a una gestión de residuos de una forma integral, cuidando los recursos naturales del ambiente prístino en cuestión y considerando las dificultades climáticas y geográficas.

En este proyecto se logró diseñar un tratamiento para potabilizar el agua, asegurando cumplir la normativa vigente de calidad de agua para consumo humano, junto a la red de distribución. Además, se logró diseñar una planta de tratamiento de efluentes cloacales, con tratamiento de contaminantes emergentes y reuso de parte del agua tratada, junto a la red cloacal y la red de redistribución de agua tratada. También se diseñó una gestión integral de los residuos sólidos, contemplando la disposición inicial, recolección y disposición final diferenciada.

Debido a la importancia de asegurar el acceso a los servicios mencionados, y a las complicaciones que implica no garantizar tales servicios, se considera esencial avanzar con la ejecución del proyecto.

10. Bibliografía

Alarcón-Herrera, M & Martín-Domínguez, Ignacio (2012). *Los humedales como tecnología emergente para la remoción del arsénico del agua*.

Allende, Luz (2004). *Estructura de las fracciones del fitoplancton de lagos antárticos de Bahía Esperanza con estado trófico contrastante. Variaciones estivales e interanuales, e interacciones con otros componentes planctónicos*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Amaro Soriano, M. A. (2022). *Tratamientos fotoquímicos (UV/H₂O₂, UV/O₃ y UV/H₂O₂/O₃) y de ósmosis inversa en aguas residuales*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Instituto de Ciencias. Posgrado en ciencias ambientales.

- Aqua España (2016). *Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de Aguas Grises en Edificios*. Asociación Española De Empresas De Tratamiento y Control De Aguas.
- Aves Argentinas (2003). *Plan de recepción de visitantes en la Base Antártica Esperanza Una propuesta para su discusión*.
- CIMAA, Centro de Investigación y Monitoreo Ambiental Antártico, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.
- Chiarandini, J.P. et al (2013) *Caracterización Ambiental Para El Uso Sostenido Del Agua Potable En Base Esperanza (Norte De La Península Antártica Argentina)*. Instituto Antártico Argentino y Depto. de Geología, Fac. de Cs. Exactas y Naturales (UBA).
- Código Alimentario Argentino. *Bebidas Hídricas, Agua Y Agua Gasificada*. Ministerio de Agricultura, Ganadería Y Pesca.
- Comando Conjunto Antártico (2023). *Gestión de residuos*.
- Comando Conjunto Antártico (2023). *Provisión de agua durante el verano e invierno antártico en base antártica conjunta esperanza*.
- COOK, A., FOX, A., VAUGHAN, D. and FERRIGNO, J. (2005). *Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century*. Science, 308, 541-544.
- Cristina Postigo et al (2023). *Human footprint on the water quality from the northern Antarctic Peninsula región*. Journal of Hazardous Materials.
- Cruz-Cruz et al. (2023). *Carbon-based materials: adsorptive removal of antibiotics from water*. Water Emerg Contam Nanoplastics
- De Iuliis, Rodrigo (2024). *Entrevista*. Personal antártico, Dirección Nacional del Antártico.
- De la Cruz González, N (2013). *Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante Procesos de Oxidación Avanzados*. Universidad de Barcelona.
- Del Valle, R.A., Morelli, J.R., y Rinaldi, C.A. (2001). Antarctic Science, 13, 323-328.
- Delgado Espinosa, N. (2019). *Diagnóstico y remoción de contaminantes emergentes en aguas superficiales y cloacales*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional De La Plata.
- Díaz, Boris G. (2022). *Calidad (exploratoria) de aguas en la Base 'Esperanza'*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Dirección Nacional del Antártico (2024). *Renovación base antártica petrel, isla dundee, antártida. Evaluación Ambiental Global (EMG)*. Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.
- Eckenfendler, W. (1998). *Activated Sludge: Treatment of Industrial Wastewater*.
- Eckenfendler, W. (1998). *Activated Sludge: Process Design and Control, Second Edition*.
- EPA. Washington, DC (2004). *Primer for Municipal Waste water Treatment Systems*.

- Espejo, W. et al (2010). *Concentración de metales traza en excretas de dos especies de pingüinos en diferentes localidades de la antártica*. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.
- Ferrigno, J. G., Cook, A. J., Foley, K. M., Williams Jr, R. S., Swithinbank, C., Fox, A. J. & Sievers, J. (2006). *Coastal-Change and Glaciological Map of the Trinity Peninsula Area and South Shetland Islands, Antarctica*.
- García-Gómez, C., Gortáres-Moroyoqui, P., Drogué, P. (2011). *Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción*. *Química Viva*.
- Gómez-Fuentes, C et al. (2013). *Diseño, construcción y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en bahía fildes y su influencia en el medio ambiente*.
- Gustavo Sposob (2023). "Antártida". De: Argentina. Para: *Enciclopedia Humanidades*.
- Ingeniería y Servicios Ambientales (ISA) (2016). *Control operacional de lodos en plantas de tratamiento*.
- Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) (2004). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*.
- Interlandi, O. R (2021). "La obtención de agua en la Antártida". Universidad de la Defensa Nacional (Ed.), *Antártida: la mirada histórica latinoamericana y su proyección pedagógica integral*.
- Lema, M (2021). "Diseño e implementación de un prototipo para la potabilización de agua mediante esterilizador ultravioleta monitoreado de forma remota en la parroquia punín". Facultad de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana.
- M. Montes, A. Martín-Serrano, F. Nozal y R. del Valle (2005). *Geología de la Costa austral de Bahía Esperanza (Península Antártica)*. *Geogaceta*, 38, 91-94.
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, D. H. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Education.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia (2000). *Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico*. Norma RAS - Título E - Tratamiento de aguas residuales
- Mónica Sanz Roldán (2021). *Habitar lo inhóspito*. Bases de investigación en la Antártida.
- Noticia de Tapa (2022). *¿Hasta dónde va a crecer el basural de Ushuaia?*. Noticias de Tierra del Fuego
- Peñalver Romero, M. (2020). *Eliminación de los contaminantes emergentes ibuprofeno, diclofenaco y paracetamol mediante procesos de membrana*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cartagena.
- Perfetti Bolaño, A. A. (2023). *Influencia de los microplásticos (mps) y productos farmacéuticos y de cuidado personal (ppcps) derivados de la actividad humana costera y sus efectos en el ecosistema antártico*. Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción.

- Pizarro, H & Irina Izaguirre (2009). Limnología en el área norte de la península Antártica.
- Programa de Gestión Ambiental (PGA) (2002). *Plan de Gestión de Residuos del Programa Antártico Argentino*. Dirección Nacional del Antártico
- Protocolo de Madrid (1991). Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.
- Sancho et al (2011). *Ecología vegetal en la Antártida*. Departamento de Biología Vegetal II, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria.
- Silva Busso (2009). *El agua en el norte de la península antártica*. Instituto Nacional del Agua.
- Teijon, Gloria et al (2004). *Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility*. Science of The Total Environment.
- Tolcachier, A. J. (2004). “Contaminación del Agua” en *Salud Ambiental*. Libro Virtual Intramed.
- Tratado Antártico (1959). Ministerio de Defensa. Armada Argentina.
- Silva Busso, A., Fresina, M., Velasco, I., & Rey, C. (2009). *La península antártica: un nuevo horizonte para las ciencias hídricas. El Agua en el Norte de la Península Antártica*. Fundación Félix de Azara, Buenos Aires, Argentina.
- Younos, Tamim & Grady A. Caitlin (2014). *Potable Water: Emerging Global Problems and Solutions*. Edition: The Handbook of Environmental Chemistry Volume 30. Publisher: Springer

11. Anexos

11.1. Anexo I.

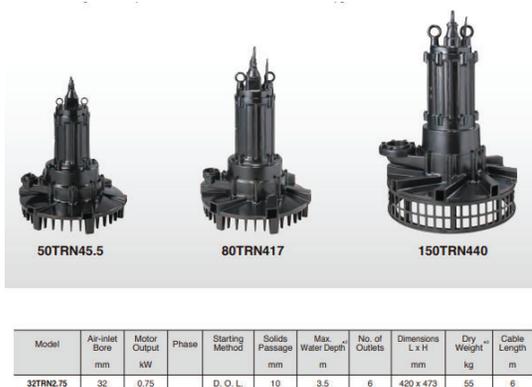
Listado de categorías de residuos peligrosos según la ley nacional de residuos peligrosos 24.052.

Corrientes de desechos	
Y1	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas para salud humana y animal.
Y2	Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.
Y3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos para la salud humana y animal.
Y4	Desechos resultantes de la producción, la preparación y utilización de biocidas y productos fitosanitarios.
Y5	Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la

	preservación de la madera.
Y6	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos.
Y7	Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple.
Y8	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.
Y9	Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
Y10	Sustancias y artículos de desecho que contengan o estén contaminados por bifenilos policlorados (PCB), trifenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).
Y11	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.
Y12	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
Y13	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.
Y14	Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan.
Y15	Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente.
Y16	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.
Y17	Desechos resultantes del tratamiento de superficies de metales y plásticos.
Y18	Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.
Desechos que tengan como constituyente	
Y19	Metales carbonilos.
Y20	Berilio, compuesto de berilio.
Y21	Compuestos de cromo hexavalente.
Y22	Compuestos de cobre.
Y23	Compuestos de zinc.
Y24	Arsénico, compuestos de arsénico.
Y25	Selenio, compuestos de selenio.
Y26	Cadmio, compuestos de cadmio.
Y27	Antimonio, compuestos de antimonio.
Y28	Teluro, compuestos de teluro.
Y29	Mercurio, compuestos de mercurio.

Y30	Talio, compuestos de talio.
Y31	Plomo, compuestos de plomo.
Y32	Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión de fluoruro cálcico.
Y33	Cianuros inorgánicos.
Y34	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.
Y35	Soluciones básicas o bases en forma sólida.
Y36	Asbestos (polvo y fibras).
Y37	Compuestos orgánicos de fósforo.
Y38	Cianuros orgánicos.
Y39	Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles.
Y40	Éteres.
Y41	Solventes orgánicos halogenados.
Y42	Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados.
Y43	Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados.
Y44	Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas.
Y45	Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).
Y46	Materiales y/o elementos diversos contaminados con alguno o algunos de los residuos peligrosos identificados en esta tabla, o que presenten alguna o algunas de las características peligrosas enumeradas en el Anexo II de la Ley de Residuos Peligrosos.

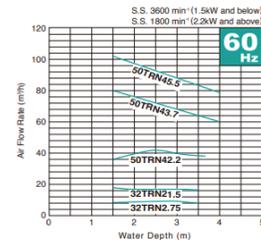
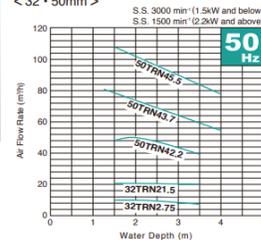
11.2. Anexo II.



Air Flow Rate - Water Depth Curves

The air flow rates are expressed at the standard condition, i.e. temperature of 20°C, 1 atm and may vary by up to approximately 5%.

< 32 • 50mm >



Dimensions

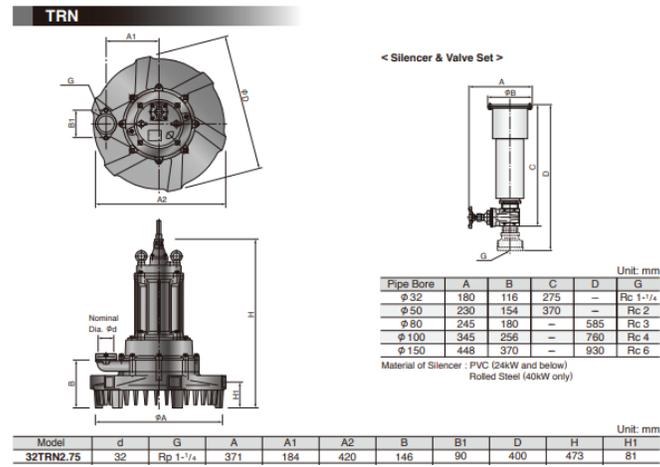


Imagen 37. Características del aireador sumergible Tsurumi 32TRN2.75

Fuente: Tsurumi

11.3. Anexo III



FICHA TÉCNICA

SISTEMA

La filtración se produce por la retención de las partículas de suciedad en el manto creado por el elemento filtrante que contiene a lo largo del lecho filtrante, en toda la profundidad del mismo.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Cuerpo: acero al carbono.

Colectores: acero al carbono o polietileno.

Juntas: caucho sintético nitrilo 60° Shore.

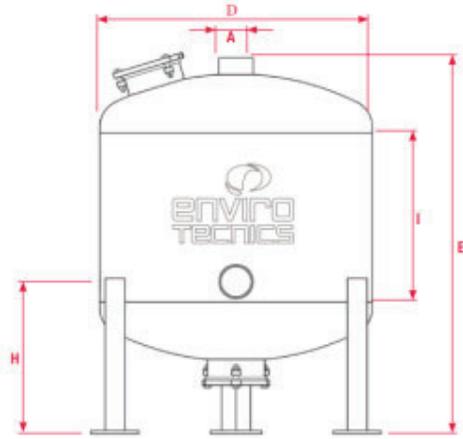
Tornillos: zincados resistentes a la intemperie.

Tapas de bocas de entrada y salida: fundición de 15 mm.

Brazos colectores y crepinas: polipropileno.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DEL ACERO

Los elementos de acero al carbono reciben un tratamiento interno y externo, por inmersión e imprimación base. Posteriormente, pasa a pintarse por proyección electrostática de pintura en polvo epoxy poliéster.



BRAZOS COLECTORES

Sup. Filtrante (m ²)	D (mm)	A (Vic)	H (mm)	E (mm)	I (mm)	Volumen (m ³)	Arena Kg.	Codigo
960	350	1" rosca H	155	645	315	0,079	30	FAV1
1.960	500	1,5" rosca H	350	900	400	0,225	100	FA1M
3.850	700	2" rosca H	350	950	400	0,466	200	FA2C
5.030	800	3" rosca H	450	1120	500	0,717	300	FA3C
7.090	950	3" brida	450	1200	500	1,083	500	FAV3
11.310	1200	4" brida	450	1260	500	1,814	800	FAV4
15.400	1400	2 x 3 Vic	560	1750	1.260	3,430	2.000	FBHG
15.400	1400	6" brida	560	1810	1.260	3,548	2.000	FBHO

Imagen 38. Características del filtro de carbón activado

Fuente: Enviro Tecnics

11.4. Anexo IV.

Verdermix VMX Series

For certain applications, Verdermix is offering a better alternative: the Verdermix VMX static mixer. For very high viscous media and laminar flow applications the VMX is the way to go!

Technical details

Type of elements	X-shape
Number of elements	Minimum 2 - maximum 24
DIN-size	From DN17 to DN 300
Materials	<ul style="list-style-type: none"> • Elements only available in SS316 • Housing available in other materials
Connections	Flanged DIN, ASA or screwed connector
Surface treatment	Pickled (standard) - On request: Electropolishing



Imagen 39. Características del Mezclador estático Verdermix VMW Series

Fuente: Verder Liquids

11.5. Anexo V.

Concentración de lodos	Agua residual cruda		DAF		Lodos crudos mixtos y digestor aerobio
	0.2 % (2000l)	1.0 % (10000 mg/l)	2.0 % (20000 mg/l)	5.0 % (50000 mg/l)	3.0 % (30000 mg/l)
MDS-051	0.5 kg-DS/h 0.25 m³/h	1 kg-DS/h 0.1 m³/h	2 kg-DS/h 0.1 m³/h	4 kg-DS/h 0.08 m³/h	5 kg-DS/h 0.17 m³/h

Concentración de lodos	Dimensiones (mm)			Marca de motores	Consumo energético (kW)	Consumo de agua (LPH) ¹	Peso (kg)		Tornillo		Anillos (por tornillo) ²						
	Largo	Ancho	Alto				vacío	operación	Ctd.	Ø	Refacciones en horas de operación ³	Fijos	Móviles				
MDS-051	1130	512	667	Nissei	0.2	12	100	120	1	50	10,000	5,000	379	335			
MDS-101	1860	750	1080		0.2	24	205	295	1	100							
MDS-131	1860	750	1080		0.2	24	205	300	1	130							
MDS-132	1960	870	1080		0.3	48	275	425	2	130	15,000	7,500	365	322			
MDS-201	2440	860	1380		0.3	32	320	470	1	200							
MDS-202	2580	977	1270		0.6	64	470	730	2	200	30,000	15,000	240	219			
MDS-311	3350	941	1564		0.8	40	910	1320	1	300							
MDS-312	3570	1260	1670		1.2	80	1350	2130	2	300							
MDS-313	3830	1620	1670		1.95	120	1820	2880	3	300							
MDS-412	4240	1550	2190		3.75	144	2300	3400	2	350							
MDS-413	4460	2100	2190		6.0	216	3350	4850	3	350							
MDS-451	4356	1170	2400		2.25	80	2500	3400	1	400					SEW	370	350
MDS-452	4900	1640	2400		4.5	160	3480	5200	2	400							
MDS-453	5030	2240	2400	6.7	240	4550	7050	3	400								

Imagen 40. Especificaciones técnicas del equipo MDS-051

Fuente: Equimar

11.6. Anexo VI

SPECIFICATION					
MAXIMUM CONTINUOUS EXPOSURE TEMPERATURE (Power ON):	85°C† (185°F)				
MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURE TEMPERATURE (Power OFF):	85°C† (185°F)				
MINIMUM OPERATING TEMPERATURE:	-40°C (-40°F)				
MINIMUM INSTALLATION TEMPERATURE:	-40°C (-40°F)				
POWER SUPPLY:	12 - 277V AC/DC				
TEMPERATURE CLASSIFICATION:	up to 40W/m @ nom voltage - T6 (85°C) up to 31W/m @ nom 230V powered to 277V - T6 (85°C) >40W/m @ nom voltage - T4 (135°C) >31W/m @ nom 230V powered up to 277V - T4 (135°C)				
INGRESS PROTECTION	IP67				
WEIGHTS & DIMENSIONS:					
Type Ref	Dimensions (mm) +/-0.5				
	Weight kg/100m				
	Min Bend radius				
	Gland Size				
FSR..C	11.75 x 4.75				
FSR..CT	12.95 x 5.95				
FSR..CF	12.65 x 5.65				
	9.5				
	12.9				
	14.8				
	30mm				
	35mm				
	35mm				
	M20				
	M20				
	M20				
MAXIMUM LENGTH (m) vs. CIRCUIT BREAKER SIZE: The following circuit details relate specifically to the trace heating of pipework and equipment. For any other application consult Heat Trace.					
Cat Reference	Start-up Temperature	10A	16A	20A	32A
10FSR	10°C	136	198	198	198
	0°C	122	188	188	188
	-20°C	108	174	176	176
	-40°C	96	154	166	166
17FSR	10°C	92	148	152	152
	0°C	84	134	144	144
	-20°C	74	118	136	136
	-40°C	66	106	128	128
25FSR	10°C	74	118	124	124
	0°C	68	108	120	120
	-20°C	60	94	112	112
	-40°C	52	84	106	106
31FSR	10°C	58	92	112	112
	0°C	52	84	104	106
	-20°C	46	74	92	100
	-40°C	42	66	82	94
40FSR	10°C	46	74	92	98
	0°C	42	66	84	94
	-20°C	36	58	74	88
	-40°C	32	52	66	84

Imagen 41. Características técnicas del equipo Freez Stop Regular (FSR) de la marca Heat-Trace Argentina.

Fuente: Heat-Trace Argentina

11.7. Anexo VII

Tabla 77. Cálculos para la cuantificación de impactos de la etapa constructiva.

Etapa constructiva														
Actividad	Factor ambiental	Signo	IN	EX	MO	PE	RE	EF	RC	PR	SI	AC	Resultado	
Preparación del terreno	Calidad de aire	-1	2	1	4	2	1	4	1	2	1	1	-24	
	Ruido													
	Agua superficial													
	Calidad de suelo	-1	1	4	2	2	2	4	2	2	1	1	-27	
	Fauna	-1	2	1	4	4	1	4	2	1	1	1	-26	
	Flora	-1	2	1	4	4	4	4	2	1	1	1	-29	
	Empleo	+1	1	4	2	2	2	4	2	2	1	1	27	
Transporte de maquinarias	Calidad de aire	-1	2	1	4	2	1	4	1	2	1	1	-24	
	Ruido	-1	4	1	4	1	1	4	1	1	2	1	-29	
	Agua superficial													
	Calidad de suelo													
	Fauna	-1	2	1	4	4	1	4	2	1	1	1	-26	
	Flora	-1	2	1	4	4	4	4	2	1	1	1	-29	
	Empleo													
Instalación de infraestructura	Calidad de aire	-1	2	4	4	2	1	4	1	2	1	1	-30	
	Ruido	-1	8	4	4	1	1	4	1	1	2	1	-47	
	Agua superficial													
	Fauna	-1	2	1	4	4	1	4	2	1	1	1	-26	
	Flora	-1	2	1	4	4	4	4	2	1	1	1	-29	
	Calidad de suelo													
	Empleo	+1	1	4	2	2	2	4	2	2	1	1	27	
Salud														

Tabla 78. Cálculos para la cuantificación de impactos de la etapa operativa

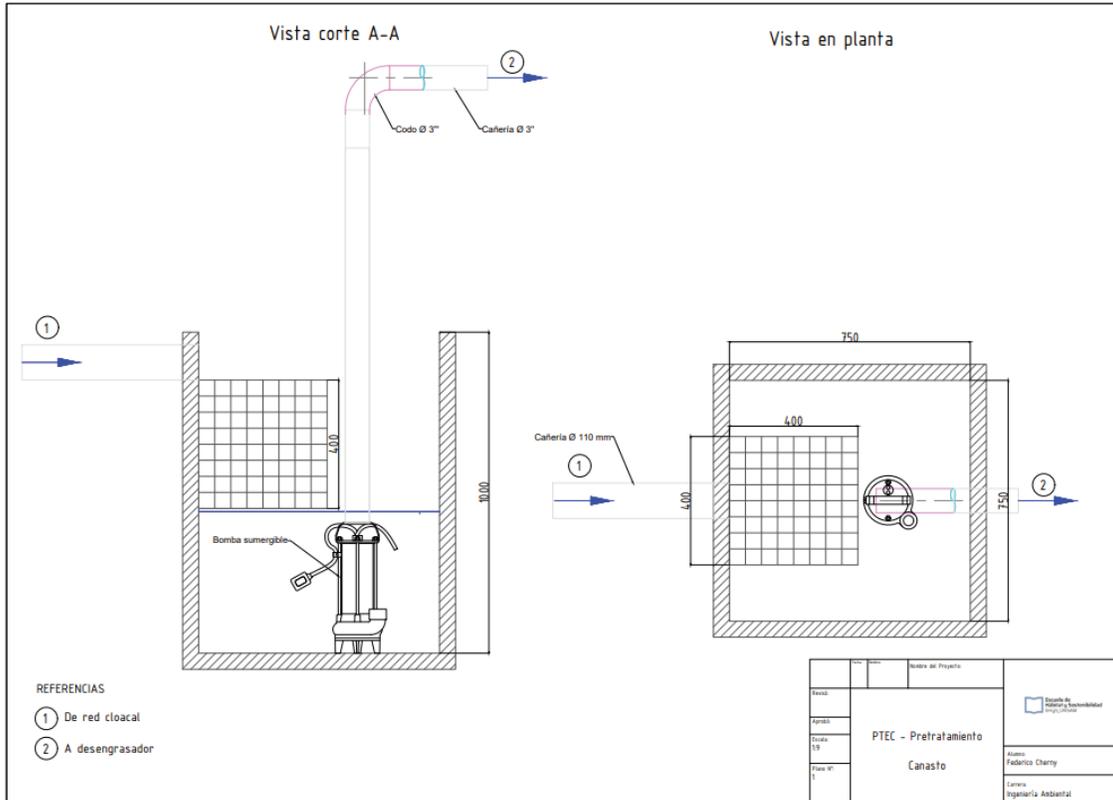
Etapa operativa													
Actividad	Factor ambiental	Signo	IN	EX	MO	PE	RE	EF	RC	PR	SI	AC	Resultado
Operación de las plantas de tratamiento	Calidad de aire	-1	1	1	2	2	2	4	2	1	1	1	-20
	Ruido	-1	2	1	4	1	1	4	1	1	2	4	-26
	Agua superficial	+1	8	4	2	4	2	4	2	2	2	4	54
	Calidad de suelo												
	Fauna												
	Flora												
	Empleo	+1	1	4	2	2	2	4	2	2	1	1	27
	Salud	+1	4	4	2	4	2	4	2	2	1	1	38
Operación de las redes de distribución	Calidad de aire												
	Ruido												
	Agua superficial												
	Calidad de suelo												
	Fauna												
	Flora												
	Empleo	+1	1	4	2	2	2	4	2	2	1	1	27
	Salud	+1	4	4	2	4	2	4	2	2	1	1	38
Gestión de los residuos	Calidad de aire	+1	2	4	2	4	2	4	2	2	2	4	36
	Ruido												
	Agua superficial	+1	1	4	2	4	2	4	2	2	2	4	33
	Fauna												
	Flora												
	Calidad de suelo	+1	4	4	2	4	2	4	2	2	2	4	42
	Empleo	+1	1	4	2	2	2	4	2	2	1	1	27
	Salud	+1	2	4	2	4	2	4	2	2	2	4	36

12. Planos

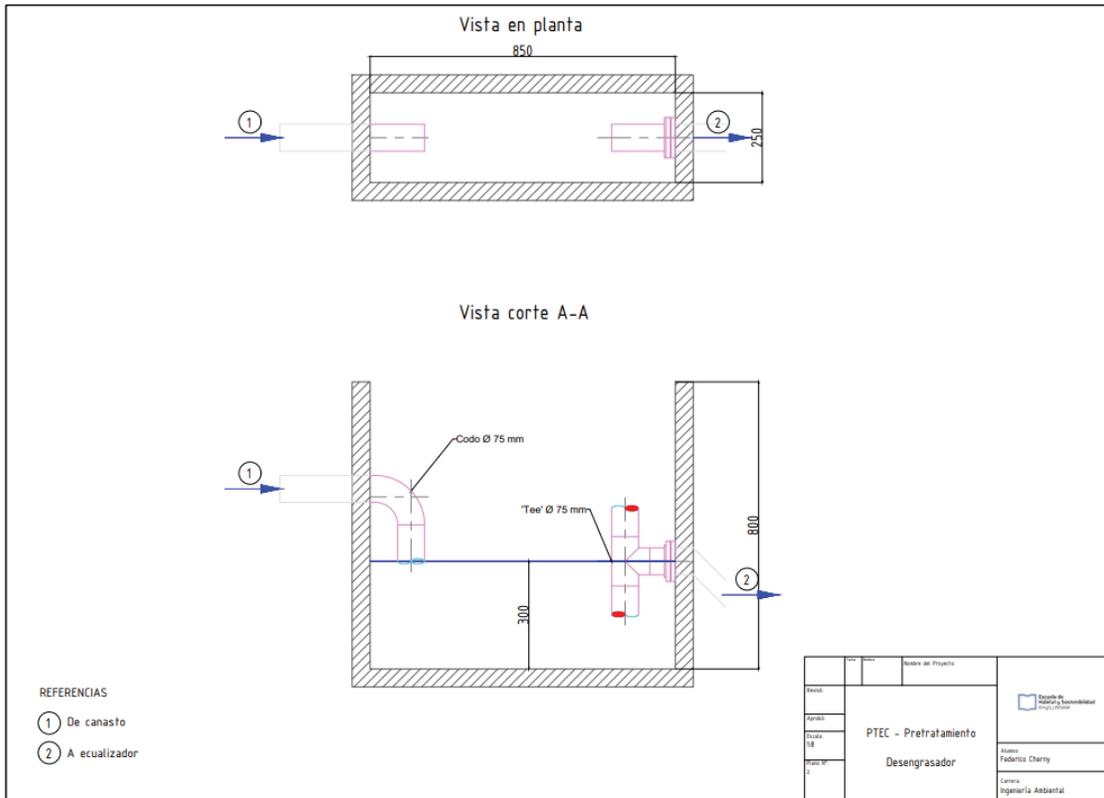
A continuación se presentan los planos confeccionados de la ingeniería básica del proyecto referidos a la PTEC y a la PTAP. En azul se muestra el perfil hidráulico.

12.1. PTEC

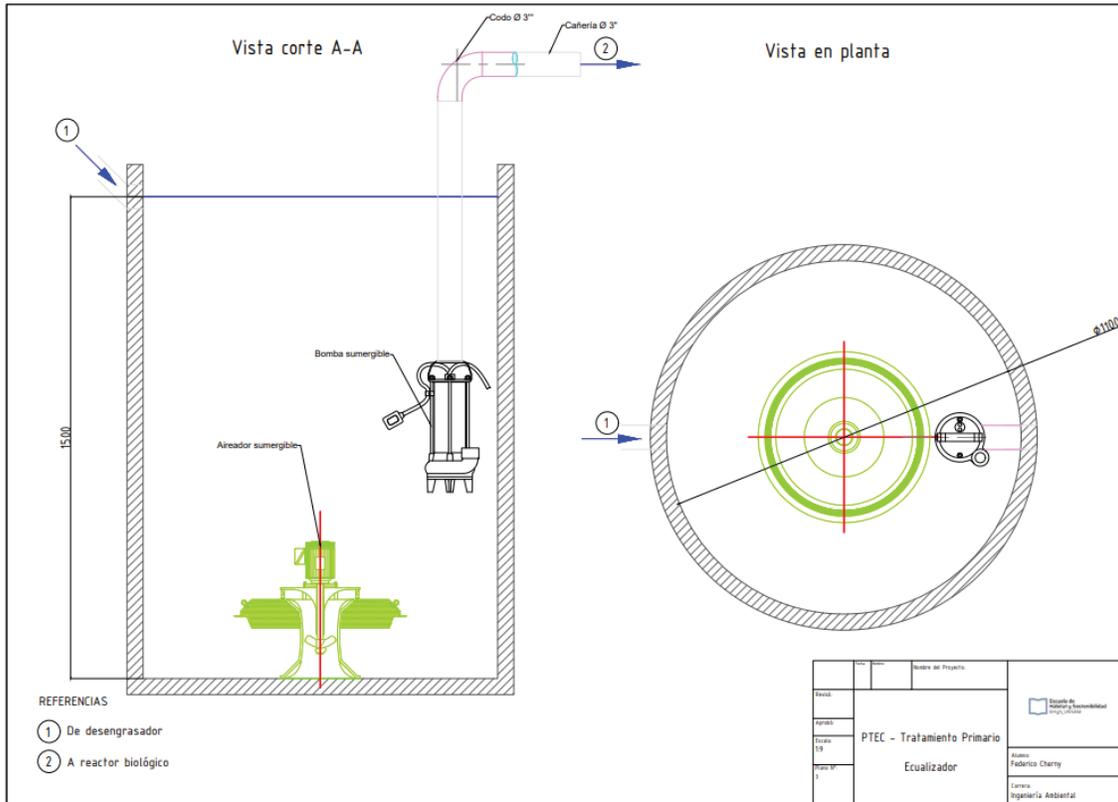
12.1.1. Canasto



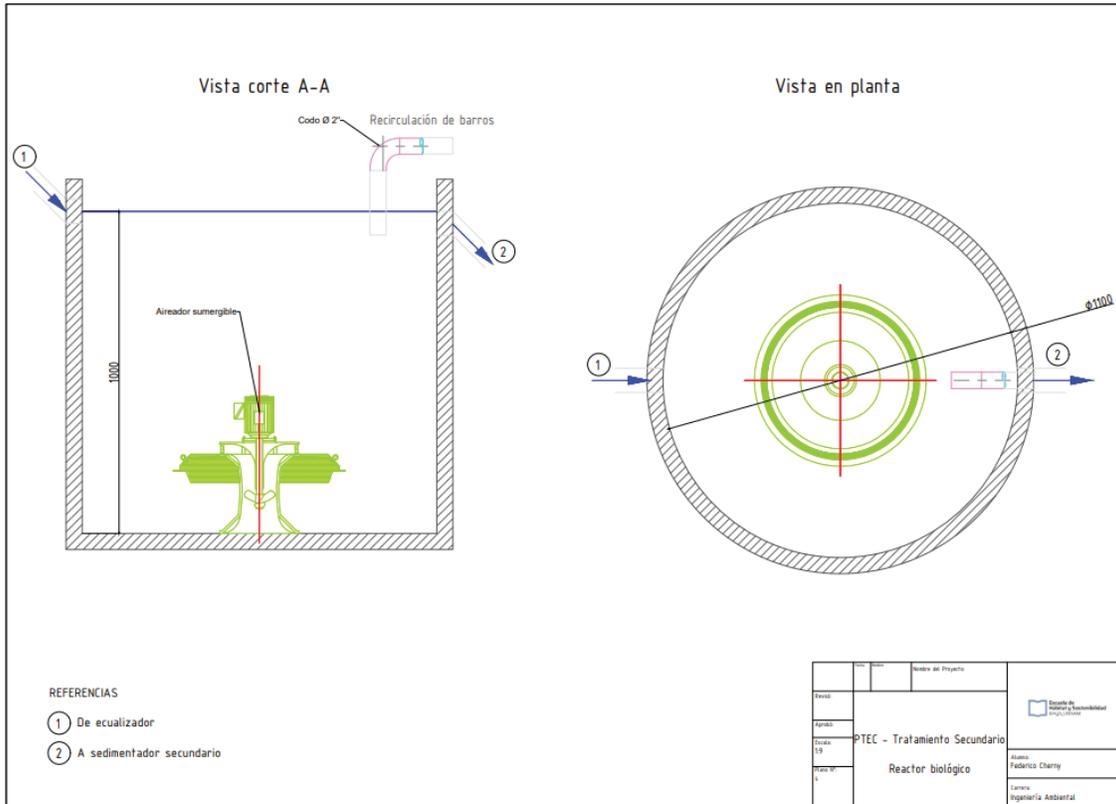
12.1.2. Cámara desengrasadora



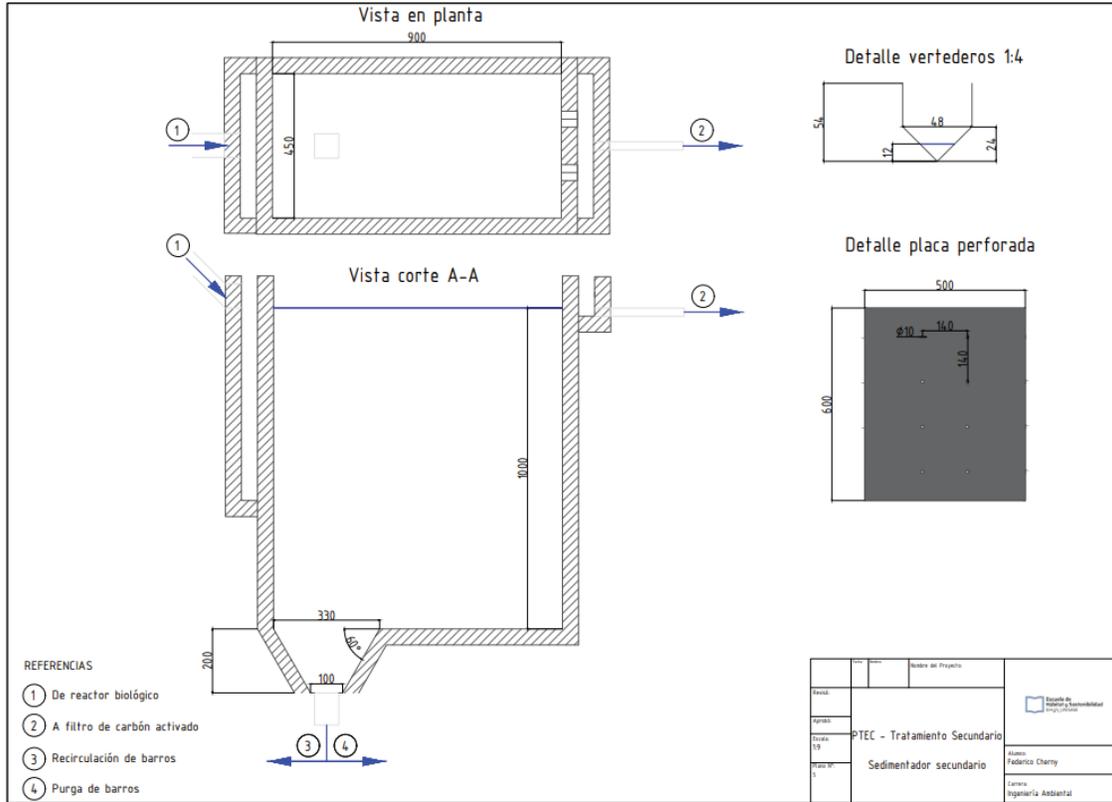
12.1.3. Ecuilizador



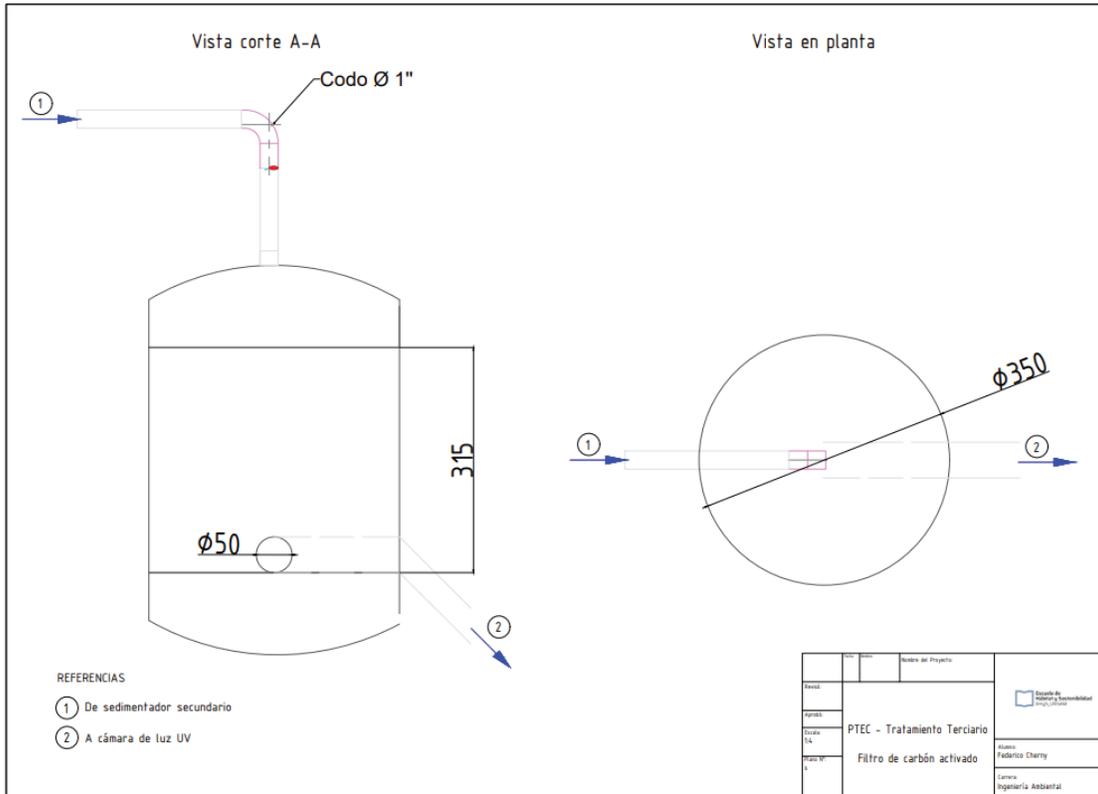
12.1.4. Reactor biológico



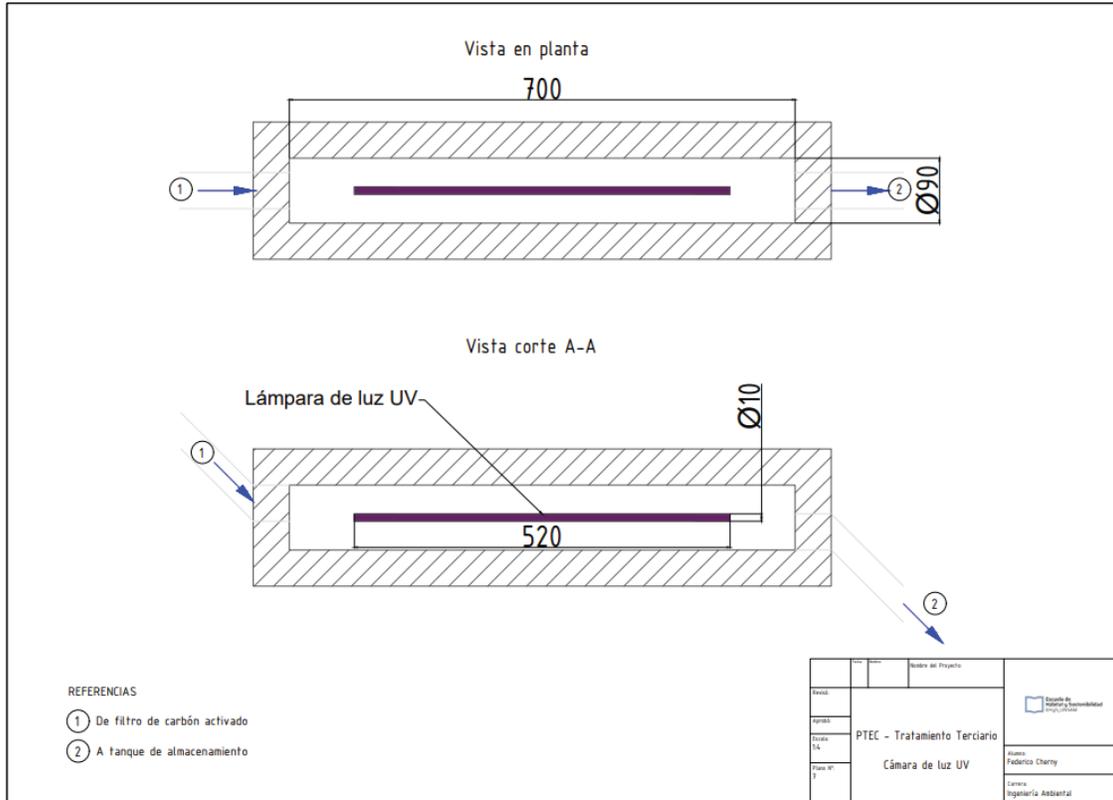
12.1.5. Sedimentador secundario



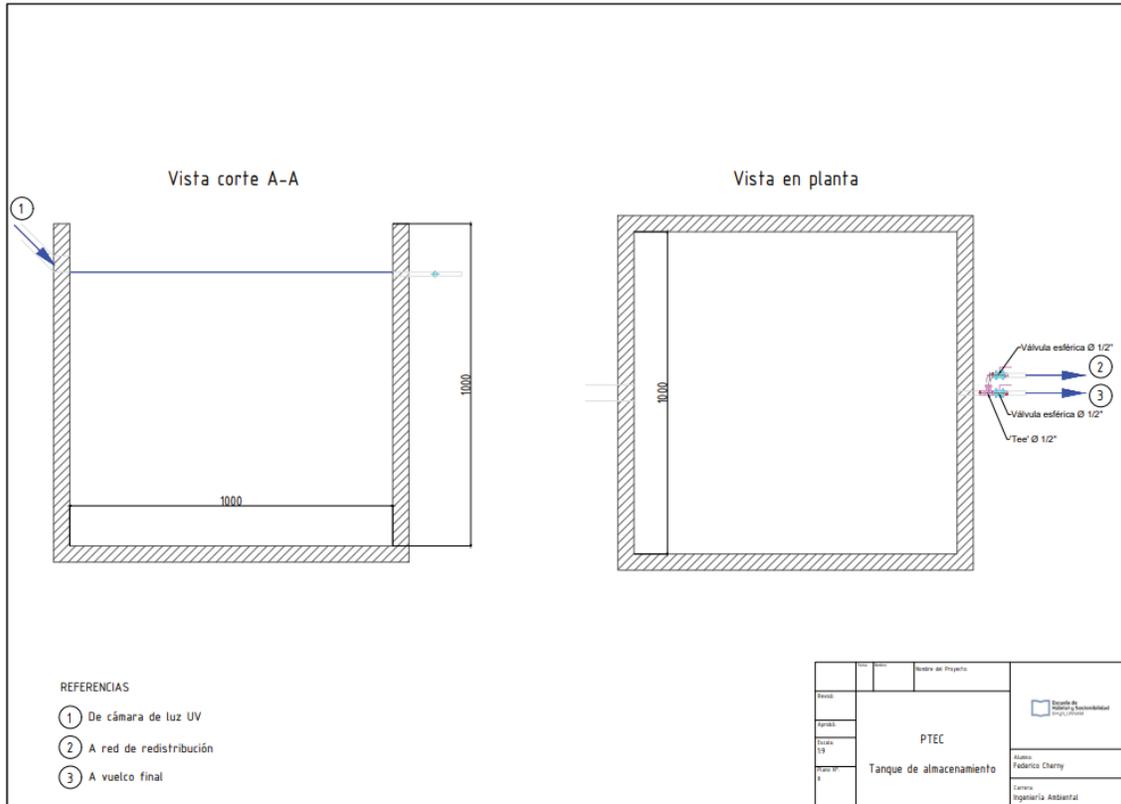
12.1.6. Filtro de carbón activado



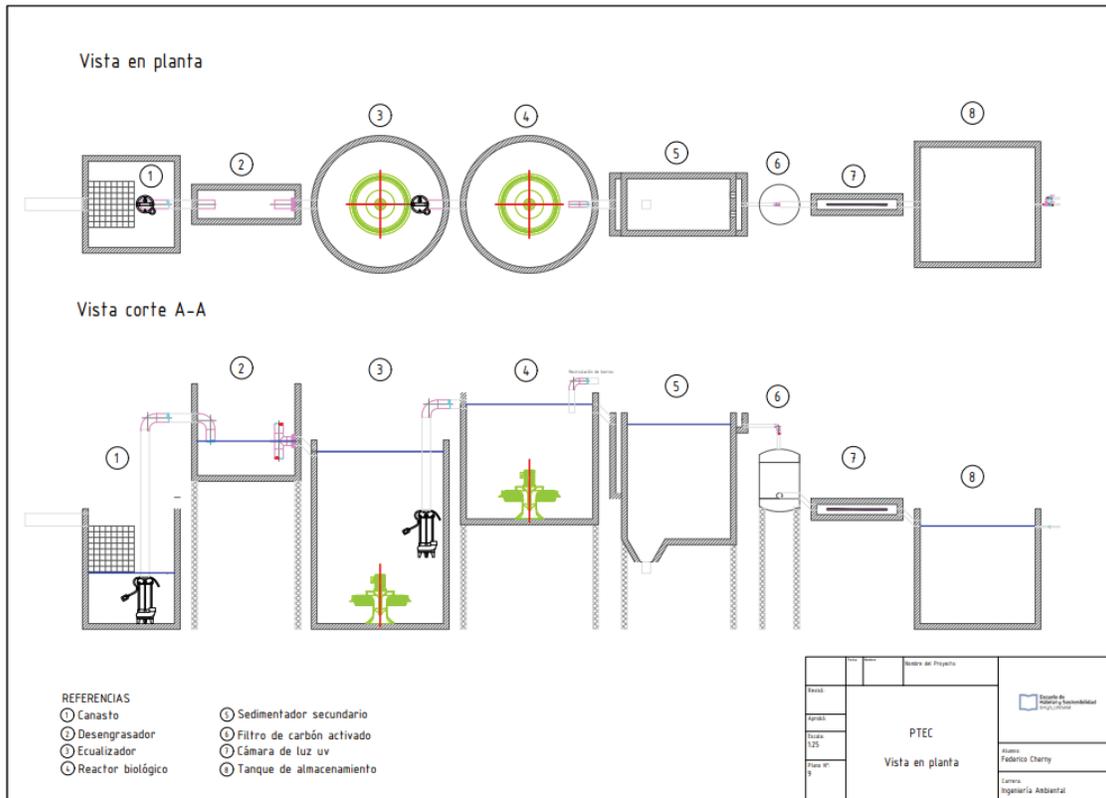
12.1.7. Cámara de luz UV



12.1.8. Tanque de almacenamiento

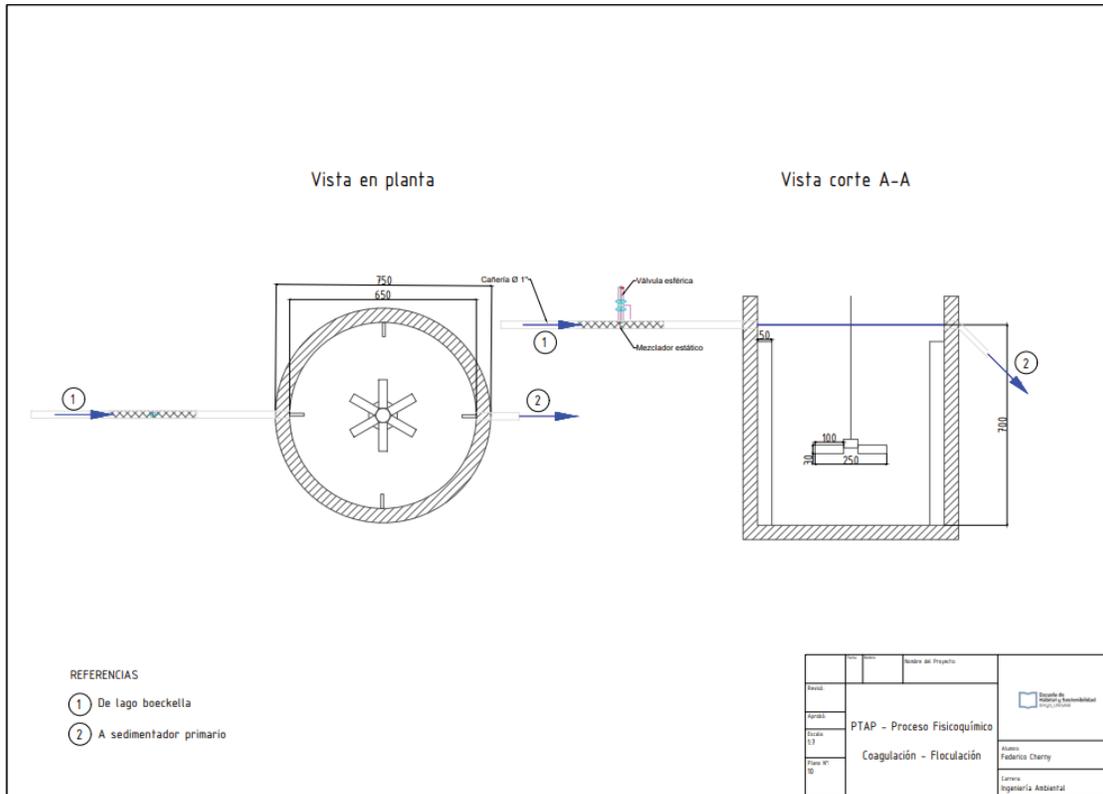


12.1.9. Vista en planta

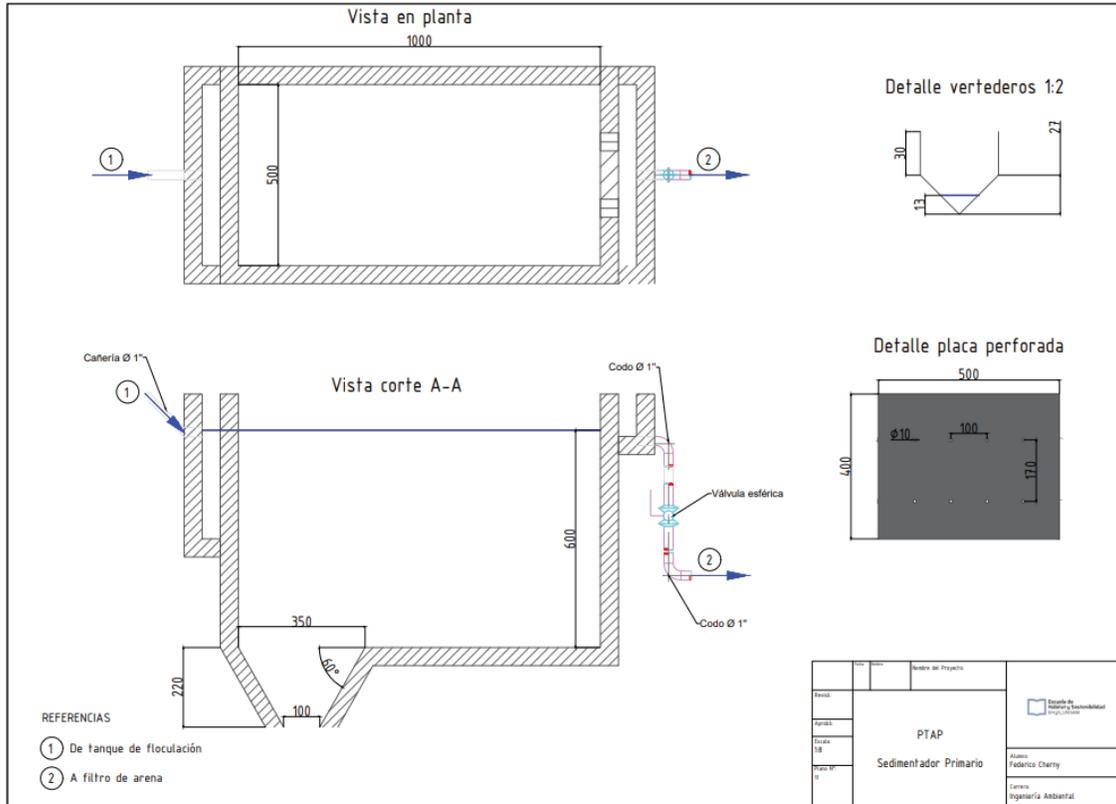


12.2. PTAP

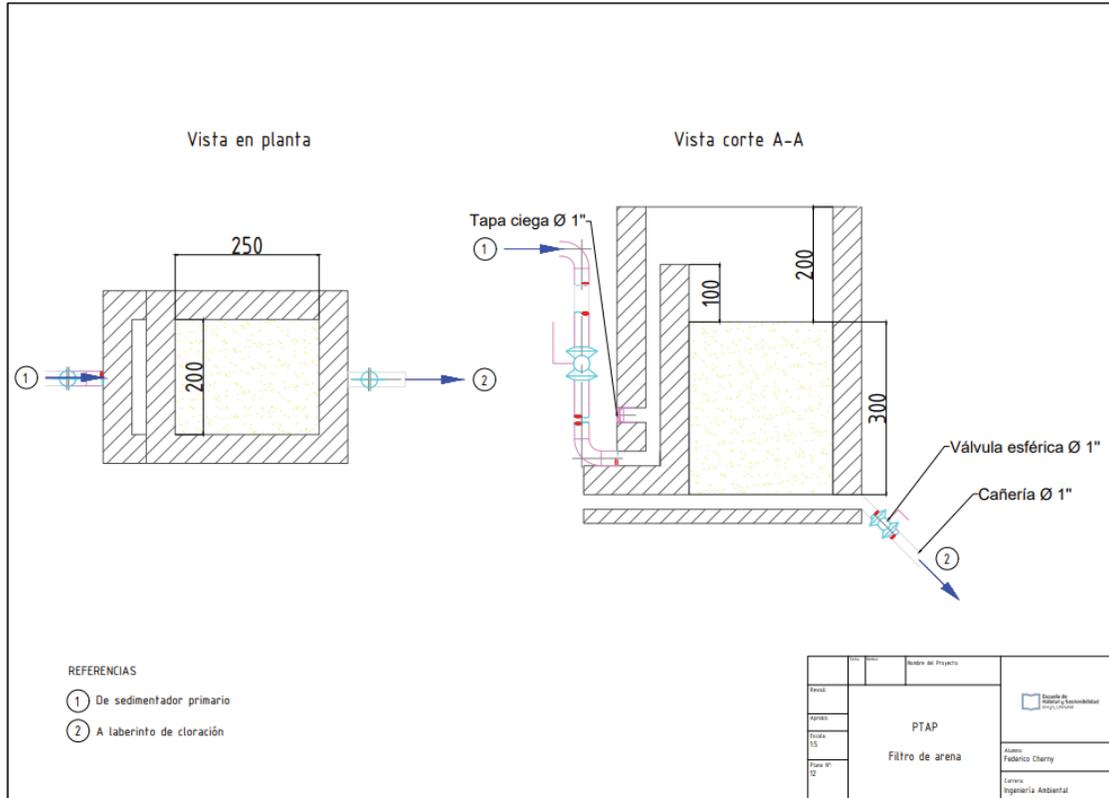
12.2.1. Proceso fisicoquímico



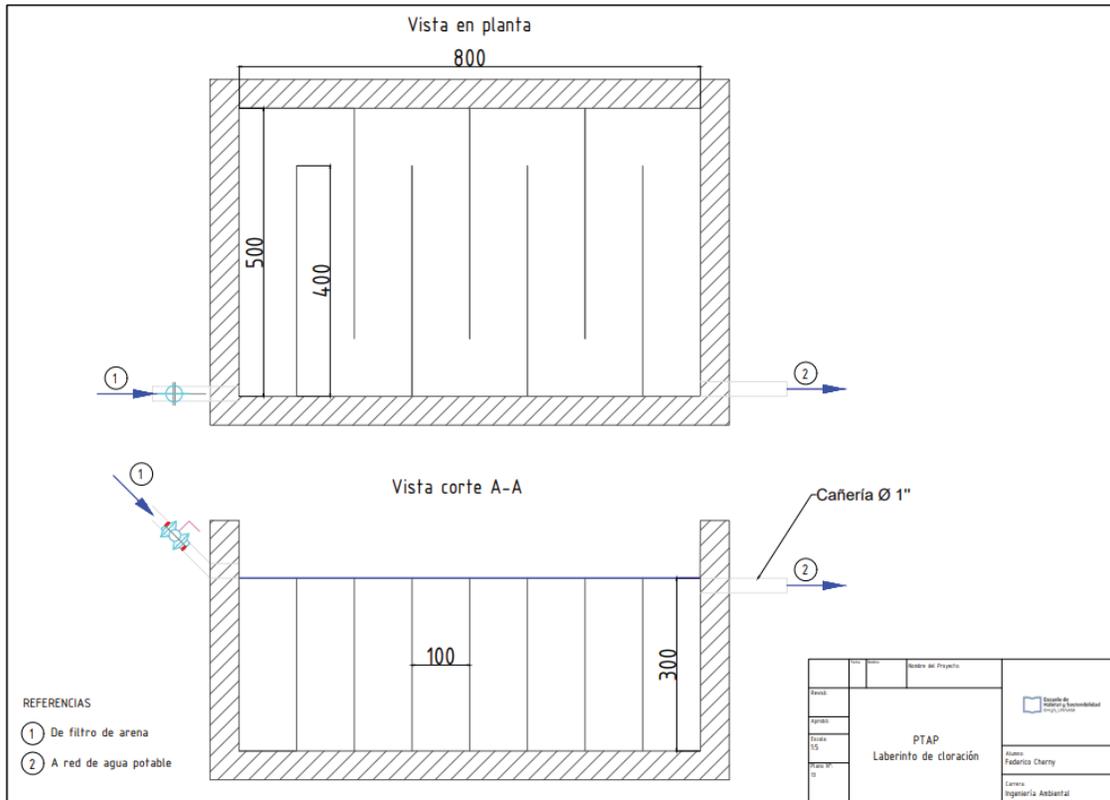
12.2.2. Sedimentador primario



12.2.3. Filtro de arena



12.2.4. Laberinto de cloración



12.2.5. Vista en planta

