



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

3iA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL

Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria de conservas de pescado y mariscos

19.08.2022

Santiago Fabbro Stabile

Legajo N°6159

Agradecimientos

A mis viejos, por el apoyo y la confianza de siempre para todo lo que me propongo.

A Lari, siempre incondicional, siempre motivándome, siempre alentándome.

A mi abuela Inés, simplemente la mejor.

A mis abuelos que hoy no pueden disfrutar este momento conmigo, pero que fueron parte de este camino.

A mis amigos del Cefe, por los partidos de truco, por los mates y por ser como hermanos para mí.

A mis amigos y amigas de la Universidad Nacional de San Martín que sin duda alguna sin ellos la cursada no hubiera sido igual. Duda que había, siempre estaban para resolverla.

A la comunidad UNSAM por darnos un espacio tan acogedor para poder formarnos.

A la educación pública.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 6 |
| Capítulo I | 7 |
| Introducción | 7 |
| Introducción a la problemática ambiental | 7 |
| Objetivo y alcance del proyecto | 8 |
| Justificación del proyecto | 8 |
| Capítulo II | 9 |
| Diagnóstico | 9 |
| Partido de San Nicolás de los Arroyos | 9 |
| Ubicación de Vita Hnos. S.A. | 10 |
| El río Paraná y su cuenca | 11 |
| Proceso productivo | 12 |
| Línea de producción de atún | 13 |
| Línea de producción de conservas de mejillones | 14 |
| Caracterización del efluente | 16 |
| Efluentes cloacales | 19 |
| Cuadro normativo | 19 |
| Capítulo III | 20 |
| Análisis de alternativas | 20 |
| Pretratamiento y tratamiento primario | 21 |
| Rejas | 21 |
| Tamiz | 22 |
| Sistema de flotación por aire inducido | 23 |
| Tanque de equalización | 23 |
| Sedimentador primario | 24 |
| Propuesta de tratamiento secundario biológico | 26 |
| Lodos activos | 26 |
| Lecho percolador y sistema carrusel | 27 |
| Remoción de fósforo y nitrógeno | 30 |
| Eliminación de nitrógeno mediante Desnitrificación/Nitrificación biológica | 30 |
| Eliminación de nitrógeno mediante procesos físicos y químicos | 32 |
| Eliminación biológica del fósforo mediante proceso PhoStrip | 34 |
| Eliminación del fósforo por adición química | 35 |
| Selección preliminar del tratamiento secundario | 35 |

| | |
|---|-----------|
| Tratamiento terciario | 37 |
| Cámara de muestreo | 37 |
| Esquema general de la planta propuesta | 38 |
| Capítulo IV | 39 |
| Memoria de cálculo de las unidades del pretratamiento y tratamiento primario | 39 |
| Rejas | 39 |
| Tamiz | 41 |
| Tanque de ecualización | 42 |
| Sedimentador primario | 44 |
| Zona de entrada | 45 |
| Zona de salida | 47 |
| Barredor | 49 |
| Zona de recolección de lodos | 50 |
| Memoria de cálculo de las unidades del tratamiento secundario biológico | 52 |
| Alternativa N° 1: Lodos activos con remoción biológica de nitrógeno | 52 |
| Sistema de nitrificación | 52 |
| Sistema de desnitrificación | 54 |
| Sistema de lodos activos | 56 |
| Generación de lodos | 60 |
| Requerimiento de oxígeno | 60 |
| Sistema de aireación | 63 |
| Alternativa N° 2: Lecho percolador con sistema carrusel | 65 |
| Lecho percolador con relleno de diseño | 65 |
| Lecho percolador con relleno a granel | 68 |
| Sistema carrusel | 69 |
| Requerimiento de oxígeno | 70 |
| Sistema de aireación | 71 |
| Memoria de cálculo de las unidades del tratamiento secundario y terciario | 73 |
| Sedimentador secundario | 73 |
| Zona de entrada | 74 |
| Zona de salida | 75 |
| Barredor | 76 |
| Zona de recolección de lodos | 77 |
| Remoción de fósforo | 78 |
| Tratamiento terciario | 79 |
| Sistema de conducción | 81 |

| | |
|--|------------|
| Pérdida de carga | 83 |
| Sistema de bombeo | 86 |
| Bombeo desde el tanque de ecualización hacia el sedimentador primario | 86 |
| Bombeo de recirculación de efluente del reactor aerobio al reactor anóxico | 87 |
| Bombeo para recirculación y purga de lodos del sedimentador secundario | 88 |
| Tratamiento de lodos purgados | 90 |
| Capítulo V | 91 |
| Cómputo y presupuesto | 91 |
| Inversión inicial | 91 |
| Operación y mantenimiento | 97 |
| Tercerización del tratamiento de efluentes | 98 |
| Análisis de factibilidad | 99 |
| Selección final del tratamiento secundario | 100 |
| Capítulo VI | 101 |
| Estudio de Impacto Ambiental | 101 |
| Marco legal | 102 |
| Normativa nacional | 102 |
| Normativa provincial | 103 |
| Descripción del proyecto | 103 |
| Etapas del proyecto | 104 |
| Construcción | 104 |
| Operación | 105 |
| Cierre | 105 |
| Línea de base | 106 |
| Características climáticas de la zona | 106 |
| Geomorfología | 106 |
| Hidrología | 107 |
| Usos del suelo | 109 |
| Flora y fauna de la región | 110 |
| Situación socio-económica | 111 |
| Identificación y evaluación de los impactos | 114 |
| Metodología de evaluación | 114 |
| Impactos de la construcción | 117 |
| Impactos de la operación | 118 |
| Impactos de posibles contingencias | 118 |
| Matriz de impacto ambiental | 119 |
| Área de influencia directa e indirecta | 121 |

| | |
|---|------------|
| Plan de gestión ambiental | 122 |
| Programa de prevención | 122 |
| Programa de monitoreo | 123 |
| Programa de mitigación | 124 |
| Programa de contingencia | 124 |
| Programa de capacitación | 125 |
| Conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental | 125 |
| Capítulo VII | 126 |
| Planos | 126 |
| Capítulo VIII | 127 |
| Conclusiones | 127 |
| Conclusiones finales | 127 |
| Conclusión personal | 128 |
| Bibliografía | 129 |
| Anexos | 132 |
| Anexo I - Tamiz rotativo TR 40/50 | 132 |
| Anexo II - Difusores CB-300 | 133 |
| Anexo III - Sopladores R1.5 y R100 | 134 |
| Anexo IV - Difusores RG-300 | 135 |
| Anexo V - Barredores ZXN4 y ZXN6 | 136 |
| Anexo VI - Diagrama de Moody | 137 |
| Anexo VII - Equipos del sistema de bombeo | 138 |
| Bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2.50B | 138 |
| Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B | 139 |
| Bomba Eddy Pump HD1K | 140 |
| Anexo VIII - Ficha técnica espesador de lodos Wanda LW250 | 141 |
| Anexo IX - Ficha técnica bomba dosificadora Dosivac 015 | 142 |
| Anexo X - Planos | 143 |

Resumen

En el presente proyecto se aborda el análisis del tratamiento del efluente proveniente de la industria de procesamiento y enlatado de conservas de pescado Vita Hnos. S.A., empresa ubicada en el partido de San Nicolás de los Arroyos y la posterior elección de un tratamiento final.

Para el diseño se analizaron dos alternativas para el tratamiento biológico secundario, un lecho percolador o en segundo lugar, un proceso de lodos activos. Además, se evalúan diversas alternativas para la remoción del fósforo y el nitrógeno, dos nutrientes comunes y abundantes en este tipo de efluentes.

Luego se realiza un análisis que aborda la factibilidad económica (presupuesto y costos de operación), la disponibilidad del terreno necesario para implementarlo, la evaluación de impacto ambiental correspondiente al emplazamiento de la planta de tratamiento y el plan de gestión ambiental. Todo este análisis se realiza en pos de justificar la viabilidad económica, técnica y ambiental del proyecto.

Luego de los análisis realizados mencionados anteriormente, se concluyó en el diseño de un tratamiento compuesto por un sistema de lodos activos, acompañado del sistema adecuado para cumplir con un proceso Bardenpho de 4 etapas para la remoción de nitrógeno y una dosificación de sulfato de amonio para asegurar una correcta eliminación del fósforo.

Finalmente, se concluye que es posible realizar el tratamiento del efluente generado por la industria mediante la alternativa propuesta. Con los datos obtenidos se pudo dimensionar la planta de tratamiento de efluentes adecuada. Desde los puntos de vista económico, técnico y ambiental el proyecto resultó ser viable.

Capítulo I

Introducción

Vita Hnos. S.A. es una industria fundada en el año 1986, que se dedica al procesado y enlatado de conservas de atún y mejillones. Su planta productiva está ubicada en el Parque Industrial Comirsa, a la vera del río Paraná en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, provincia de Buenos Aires. Allí se procesan 63.000 toneladas de atún y 7.800 toneladas de mejillones por año. Ésta producción, significa una generación anual de aproximadamente 210.000 m³ de efluentes, los cuales son principalmente de carácter orgánico y se encuentran cargados de nutrientes, como fósforo y nitrógeno. Actualmente, estos efluentes líquidos no son tratados antes de ser volcados en el río Paraná, el cual es afluente del Río de la Plata. Debido a este incumplimiento legal, la empresa ha solicitado el diseño de una planta de tratamiento de efluentes que le permita cumplir con las condiciones de vuelco legisladas.

I.1 Introducción a la problemática ambiental

Las industrias procesadoras de mariscos y pescados generan efluentes que se caracterizan por contener una gran cantidad de grasas, materia orgánica y nutrientes, es por esto que el tratamiento, antes de verter los efluentes sobre un cuerpo de agua, se hace necesario.

El principal problema de un vuelco de efluentes que no fue tratado es que los cuerpos de agua resultan incapaces de neutralizar la carga contaminante por sí mismos, lo cual a su vez afecta la flora y fauna que sustentan. Cada uno de los diferentes contaminantes volcados tendrán un efecto particular sobre la masa de agua, pero todos generarán una gran afectación al desarrollo de la vida natural.

En particular, la gran cantidad de materia orgánica vertida sobre el río, provoca una disminución del oxígeno disuelto del cuerpo de agua, ya que este es necesario para su oxidación. Esto trae aparejado una reducción del oxígeno disponible para las especies que habitan en el presente ecosistema.

Por otro lado, una descarga muy alta de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, favorece el crecimiento de algas en el cuerpo de agua. Este proceso, llamado eutrofización, se caracteriza por la proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas, como las diatomeas, las cuales forman una capa sobre la superficie acuática. Esta capa impide el paso de la luz solar hacia el fondo, afectando el proceso fotosintético de las especies vegetales que se encuentran en este y evitando así la producción de oxígeno. Esto a su vez aumenta la actividad metabólica de las especies vegetales, lo cual se traduce como un aumento en el consumo de oxígeno de su parte. La sumatoria de estas consecuencias genera un ambiente anóxico afectando las especies animales en el fondo marino y estimulando la descomposición de las especies vegetales. ^[1]

Por último, la descarga de efluentes con valores altos de grasas y aceites tiene un efecto similar al de los nutrientes. Dado que este tipo de compuestos posee una densidad menor al agua y que son inmiscibles en esta, difunden hacia la superficie del cuerpo acuático. Esto forma una capa que absorbe la radiación solar y afecta la interfase aire-agua, reduciendo así la reoxigenación. Todo esto conlleva a las mismas consecuencias que se describen para el caso del fósforo y nitrógeno.

I.II Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio sobre los efluentes generados por una industria de conservas para luego, en función de los resultados, diseñar un sistema de tratamiento acorde a la industria a fin de que los vuelcos de la misma sobre el cuerpo de agua cercano cumplan con la normativa vigente.

I.III Justificación del proyecto

La necesidad del proyecto reside en la importancia de cumplir con la normativa vigente, realizando un manejo eficiente de los efluentes generados, para poder garantizar la continuidad de las operaciones de la empresa.

Esto en un futuro se traducirá como un ahorro económico, evitando posibles multas y/o clausuras, además de asegurar un impacto ambiental positivo en el área circundante a la planta productiva.

Capítulo II

Diagnóstico

II.1 Partido de San Nicolás de los Arroyos ^[2]

Ubicado en el extremo noreste de la provincia de Buenos Aires, San Nicolás de los Arroyos es uno de los 135 partidos que la componen. Se sitúa a 237 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y está compuesto por las localidades de Campos Salles, Conesa, Erézcano, General Rojo, La Emilia, San Nicolás de los Arroyos, Villa Campi, Villa Canto, Villa Esperanza, Villa Hermosa y Villa Riccio.



Figura II.1.1 Ubicación del partido de San Nicolás en la provincia de Buenos Aires. Fuente: Wikipedia.

En su extremo norte limita con el Departamento de Constitución perteneciente a la provincia de Santa Fé, al este con Ramallo, al sur con Pergamino y en el extremo noreste con el río Paraná.

El clima del partido es pampeano, caracterizado por veranos sumamente calurosos y húmedos acompañado de grandes lluvias, mientras que los inviernos son fríos con temperaturas que pueden llegar hasta los 5°C. En cuanto a las precipitaciones, los meses más húmedos son febrero y octubre con promedios de 135 y 120 mm respectivamente.

II.II Ubicación de Vita Hnos. S.A.

La industria Vita Hnos. S.A. se encuentra en el partido de San Nicolás de los Arroyos, provincia de Buenos Aires, Argentina. El predio donde está ubicada la planta productora abarca un área de 9,6 hectáreas.

Como se mencionó anteriormente, cercano al predio de la empresa se encuentra el río Paraná, particularmente a una distancia de 1400 metros en línea recta.



Figura II.III. Superficie ocupada por la industria dentro del parque industrial. Fuente: Windows Maps.



Figura II.II.II Superficie ocupada por el predio de la industria. Fuente: Windows Maps.

En la figura II.II.I, se puede observar el predio ocupado por la industria y a sus espaldas el río Paraná, donde serán volcados los efluentes.

La Figura II.II.II muestra en azul la superficie ocupada por el predio de la industria, y dentro de este se delimita en rojo una superficie de 0,7 hectáreas, actualmente desocupadas, las cuales Vita Hnos. S.A. las destinará para el emplazamiento de la planta de tratamiento de efluentes.

II.III El río Paraná y su cuenca

El río Paraná nace en la confluencia de los ríos Grande y Paranaíba, en Brasil. Tiene una longitud aproximada de 4880 km, lo que lo convierte en el segundo río más largo de Sudamérica, por detrás del Amazonas.^[3]

A lo largo de su recorrido, hace de frontera entre Brasil y Paraguay, para luego adentrarse en territorio argentino al confluir con el río Paraguay, hasta

su desembocadura en el Río de la Plata. Los principales afluentes del Paraná son los ríos:

- Tiete: río ubicado en el estado de São Paulo, Brasil. Este río tiene un caudal medio de 2.500 m³/s y cuenta con la particularidad de ser uno de los ríos más contaminados de América del Sur. Esto se debe al vertido de aguas residuales sin tratar proveniente de la zona industrial del Estado.^[4]
- Iguazú: este río se encuentra compartido entre el sur de Brasil y el nordeste de Argentina. Tiene un caudal medio de aproximadamente 1.700 m³/s, y tiene la particularidad de contar con las cataratas del Iguazú.^[5]
- Paraguay: río que atraviesa los territorios de Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay. Tiene un caudal medio de 4.300 m³/s y es el principal afluente del río Paraná.^[6]
- Salado: río que se encuentra en territorio argentino y que cuenta con un régimen sumamente inestable, alternando períodos de sequía con períodos de inundaciones en temporada de grandes lluvias.^[7]

El Paraná forma parte de la cuenca del Plata, siendo esta la segunda cuenca más extensa en territorio sudamericano, por detrás de la del río Amazonas, mencionada anteriormente. La cuenca del Plata tiene una extensión de aproximadamente unos 2.600.000 km².

En su desembocadura, el caudal medio es de 17.000 m³/s. Sin embargo, se han registrado picos de 60.000 m³/s. En este punto, el río forma un delta exclusivamente de agua dulce, el cual está en constante crecimiento debido a los sedimentos arrastrados por los ríos Paraguay y Bermejo.^[8]

En cuanto a la actividad económica en el río, el aprovechamiento pesquero es uno de los más fuertes debido a la pesca de sábalo y surubí principalmente. Otro de los principales beneficios económicos obtenidos a partir del río es la generación eléctrica. A lo largo de su cauce, los saltos y rápidos que presenta han sido aprovechados por centrales hidroeléctricas como Ilha Solteira, Jupιά y Porto Primavera.^[8]

II.IV Proceso productivo ^[9]

El proceso productivo de las conservas de Vita Hnos. S.A. es estacional y se divide en dos temporadas. Desde principios de enero hasta finales del mes

de junio, se realiza la producción de conservas de atún. En contraparte, los últimos seis meses del año se realiza la producción de conservas derivadas del mejillón. Entre medio de ambas temporadas de producción, las actividades cesan por 7 días.

III.I.I Línea de producción de atún

La producción de conservas de atún se realiza a partir de la materia prima congelada. En total, el tiempo abarcado para la producción de conservas de atún es de 25 semanas.

La línea de producción de conservas de atún consta de las siguientes etapas:

- Descongelado: una vez que el atún ingresa a la planta se realiza el descongelado. Para esto se lo coloca en una piscina con abundante agua marina.
- Eviscerado: el siguiente paso es el eviscerado, proceso en el que se limpia y se corta el atún con el fin de remover todas las vísceras del mismo. Luego se lava con agua dulce y se recoge en cajas metálicas de acuerdo a su tamaño.
- Cocción: este paso se realiza en salmuera a una temperatura de 98 °C, y se introducen las cajas metálicas con el atún en cuatro grandes cocederos.
- Reposo: luego de la cocción, se deja reposar el atún de forma que libere la mayor cantidad de grasa posible, para su posterior traslado a la línea de trabajo manual.
- Troceado: en esta línea el atún es limpiado y troceado con sierras de corte, de acuerdo a los diferentes productos comercializados. Una vez troceado, el producto es enlatado y llevado a la línea de salsas y a su posterior cierre. Una vez cerradas, las latas son enjuagadas por todo su exterior para remover cualquier remanente de aceite o salsa.
- Esterilizado: luego del enlatado y enjuague, las latas son enviadas a un segundo autoclave de flujo discontinuo, para su esterilización a 110 °C entre 75 y 105 minutos, según el tamaño de la lata. Luego de cada ciclo de esterilización, el autoclave se lava con agua dulce para eliminar cualquier tipo de residuos.
- Control final y empaquetado: las latas son trasladadas a la línea de control y empaquetado, en donde se realiza un lavado de las

mismas con agua y detergente. Después del lavado, se recogen las latas por otra cinta transportadora y se colocan en el estuche. Por último, son empaquetadas en cajas para su envío a los distintos puntos de venta.

III.I.II Línea de producción de conservas de mejillones

La producción del mejillón se realiza a partir del molusco fresco recogido del río. En caso de ser necesaria su producción fuera de temporada, se utiliza mejillón congelado. En total, la producción de conservas de mejillones dura 25 semanas.

La línea de producción de conservas de mejillón consta de las siguientes etapas:

- Recepción: el mejillón ingresa a la planta en camiones que descargan el contenido en una tolva exterior, desde la cual se transportan a través de una cinta hacia el interior. Una vez dentro, caen en unos tanques con agua de mar la cual amortigua el choque, para evitar que se rompa la concha.
- Desbarbado: en esta máquina se eliminan los cirros, algas y otros objetos adheridos a la concha, mediante rodillos que giran en direcciones opuestas, agarrando estos sólidos y arrancándolos. El movimiento de los mejillones a lo largo de esta máquina se produce mediante empuje por agua de mar.
- Cocción: en este proceso se utiliza un autoclave longitudinal de flujo discontinuo de 300 litros de capacidad, el cual trabaja a 130 °C en ciclos que duran 3 minutos. A la salida de este paso, el mejillón alcanza su punto de cocción. Esto hace que el marisco se abra, lo cual facilita la separación del cuerpo carnoso y la concha. Este proceso expulsa 300 litros de agua dulce con un alto contenido de materia grasa cada tres minutos a un depósito de expansión.
- Separación: el mejillón cae en un depósito de salmuera, donde por flotación se recoge la concha en un canal lateral auxiliar y es enviada al depósito de residuos sólidos. El cuerpo carnoso se recoge del fondo del depósito y es llevado a través de una cinta transportadora hasta otro depósito de agua dulce, para así eliminar el sabor a sal debido al baño previo en salmuera. De

este segundo depósito, el cuerpo carnoso pasa a la freidora mediante una cinta horizontal de longitud suficiente para permitir que escurra y elimine la mayor cantidad de agua posible.

- Freidora: este proceso se realiza en un baño de aceite de oliva por el que pasan los mejillones, transportados a través de una cinta metálica. Para mantener el aceite a la temperatura adecuada existe un circuito de termostatación por agua. El mejillón sale de la freidora mediante otra cinta la cual acaba en unas cajas donde se recoge el producto y se lo lleva a la línea de trabajo manual.
- Enlatado: en esta línea se separan los distintos mejillones de acuerdo a sus tamaños y se colocan en latas. Luego se añade la salsa y se tapan las latas. Una vez cerradas, son enjuagadas en su exterior para remover cualquier remanente de aceite.
- Esterilizado: luego del enlatado y enjuague, las latas son enviadas a un segundo autoclave de flujo discontinuo, para su esterilización a 110 °C entre 75 y 105 minutos, según el tamaño de la lata. Luego de cada ciclo de esterilización, el autoclave se lava con agua dulce para eliminar cualquier tipo de residuos.
- Control final y empaquetado: las latas son trasladadas a la línea de control y empaquetado, en donde se realiza un lavado de las mismas con agua y detergente. Después del lavado, se recogen las latas por otra cinta transportadora y se colocan en el estuche. Por último, son empaquetadas en cajas para su envío a los distintos puntos de venta.

II.V Caracterización del efluente

Para ambos productos finales, la producción se lleva a cabo 6 días a la semana. Cuando finaliza la temporada de producción de un producto, las actividades cesan por un período de 7 días hasta comenzar con el nuevo proceso productivo.

En las Tablas II.V.I. y II.V.II. se pueden observar los valores de los diversos parámetros fisicoquímicos del efluente, aportados por la empresa y necesarios para realizar el diseño de cada una de las unidades del tratamiento.

Tabla II.V.I. Características de los efluentes de aguas grasas de la empresa de conservas.^{[9][10]}

| Aguas grasas | | |
|---|-------------------------------|---------------------------|
| Parámetro | Procesado del mejillón | Procesado del atún |
| Caudal de agua (m ³ /día) | 198 | 188 |
| DQO _T (mg/l) | 4450 | 3850 |
| DBO ₅ (mg/l) | 1925 | 1600 |
| SS (mg/l) | 289 | 621 |
| Grasas (mg/l) | 1945 | 1885 |
| NtK (mg/l) | 325 | 275 |
| Fósforo (mg/l) | 80 | 65 |
| pH | 6,14 | 6,05 |
| Biodegradabilidad (DBO ₅ /DQO) | 0,43 | 0,42 |

Tabla II.V.II. Características de los efluentes de aguas no grasas de la empresa de conservas.^{[9][10]}

| Aguas no grasas | | |
|---|-------------------------------|---------------------------|
| Parámetro | Procesado del mejillón | Procesado del atún |
| Caudal de agua (m ³ /día) | 436,50 | 430 |
| DQO (mg/l) | 755 | 714 |
| DBO ₅ (mg/l) | 385 | 352 |
| SS (mg/l) | 724 | 771 |
| Grasas (mg/l) | 748 | 662 |
| Biodegradabilidad (DBO ₅ /DQO) | 0,51 | 0,49 |

La diferenciación entre las aguas grasas y aguas no grasas reside en el propósito para el cual fueron utilizadas, lo cual impacta en el contenido graso de la misma. Por un lado, las aguas grasas son aquellas utilizadas en todo lo relativo al procesado de la materia prima, es decir, es aquella usada durante el desbarbado, el eviscerado, la fritura y la cocción. Por su parte, el efluente de agua no graso proviene de todos los procesos de lavado y esterilizado tanto de las latas como de las instalaciones de la planta productiva. Si bien en parte de las líneas de producción se utiliza agua salada y salmuera, el caudal de ambas es muy pequeño en comparación al de agua dulce usada, con lo cual no habrá inconvenientes en tratar el agua salada junto con el agua dulce en el tratamiento biológico ya que el efecto dilución disminuye la conductividad de ésta agua evitando así afectar el tratamiento.

A continuación, se describirá brevemente el significado de cada uno de los parámetros que caracterizan al efluente industrial de Vita Hnos. S.A.:

- Caudal: hace referencia al volumen de agua que circula por unidad de tiempo.
- DQO_T: este parámetro refiere a la Demanda Química de Oxígeno, esto se traduce como la cantidad de O₂ requerida para oxidar totalmente la materia orgánica presente. Cuanto mayor es la DQO, será necesaria una mayor cantidad de O₂ y lo cual a su vez significa una mayor presencia de materia orgánica.

- DBO₅: este parámetro refiere a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, esto se traduce como la cantidad de materia orgánica a ser degradada biológicamente en 5 días. Para su medición, se debe calcular el oxígeno calculado en ese lapso de tiempo.
- SS: los Sólidos Suspendidos reflejan la cantidad de material que hay en suspensión en el efluente. Éste material puede ser de carácter sedimentable, es decir que en un lapso de tiempo precipitarán, o de carácter coloidal, que se mantendrá en suspensión.
- Grasas: mide la cantidad de sustancias de naturaleza lipídica, que pueden ser de origen animal o vegetal y resultan inmiscibles en el agua. Es importante su remoción en los primeros pasos del tratamiento ya que, en caso de que este tipo de contaminante llegue al tratamiento biológico, la gran tendencia que tienen a oxidarse harán que fijen rápidamente el oxígeno disuelto. Esto hará que se forme un ambiente anóxico, lo cual afectará la proliferación de los microorganismos presentes.
- NtK: el Nitrógeno total Kjeldahl hace referencia a la cantidad de nitrógeno total del efluente, tomando en cuenta tanto el nitrógeno orgánico como el amoniacal. Es importante conocer su valor, ya que el nitrógeno es uno de los responsables de la eutrofización de los cuerpos de agua.
- Fósforo: este parámetro refiere a la cantidad del nutriente presente en el efluente, tanto orgánico como inorgánico. Al igual que para el caso del nitrógeno, la importancia de su valor reside en que también es el otro responsable de la eutrofización de los cuerpos de agua cuando se haya en exceso.
- pH: indica la concentración del ion H⁺ en el efluente. Su valor indica que tan ácido o básico resulta el mismo.
- Biodegradabilidad: este valor hace referencia a la capacidad del efluente para ser degradado de forma biológica, mediante el uso de diversos microorganismos. Se considera que a valores mayores a 0,40 el efluente presenta una buena biodegradabilidad.

II.VI Efluentes cloacales

Dado que la ciudad de San Nicolás cuenta con red cloacal en todo su territorio, incluso en el predio industrial, las unidades serán diseñadas considerando sólo los valores de caudales y de los diversos parámetros pertenecientes a los efluentes propios del proceso productivo. Los efluentes provenientes de los baños y las duchas de los vestuarios serán volcados al colector de la red cloacal.

II.VII Cuadro normativo

A nivel provincial, la normativa aplicable sobre la cual se fijaron los valores límites de vuelco de efluentes viene dada por la Resolución N° 336/03 de la Autoridad del Agua (ADA), en el marco del Código de Aguas (Ley N° 12.557). En la Tabla II.VII.I se pueden observar los valores normados para los diversos parámetros de calidad de aguas.

Tabla II.VII.I. Límites de vuelco de efluentes de acuerdo a la resolución de ADA.^[11]

| Parámetro | Unidad | Valores límites de descarga | |
|-------------------------------|--------|-----------------------------|----------------------------|
| | | Colectora cloacal | Cuerpo de agua superficial |
| DBO | mg/l | ≤200 | ≤50 |
| DQO | mg/l | ≤700 | ≤250 |
| Sólidos sedimentables 2 hs | mg/l | ≤5 | ≤1 |
| NTk | mg/l | ≤105 | ≤35 |
| Fósforo | mg/l | ≤10 | ≤1 |
| pH | upH | 7-10 | 6,5-10 |
| Temperatura | °C | ≤45 | ≤45 |

Capítulo III

Análisis de alternativas

En una primera instancia, la propuesta de tratamiento estará basada en la biodegradabilidad del efluente dada por la relación DBO_5/DQO . De acuerdo a lo descrito en las Tablas II.V.I y II.V.II, se puede observar que dicha relación se encuentra en valores por encima del 0,40 por lo que resulta adecuado adoptar una unidad de tratamiento biológico dentro del tren de tratamiento.

Teniendo en cuenta los valores límite para descarga en cuerpos de agua, normados por la Resolución N° 336/03, se propone un tratamiento que consistirá en un pretratamiento y tratamiento primario físico. Esto permitirá dejar el efluente en condiciones adecuadas para el ingreso al tratamiento secundario, que será biológico y en el cual se removerá la mayor parte de la materia orgánica. Para este último se evaluarán dos alternativas, un proceso de lodos activos y un sistema compuesto por un lecho percolador seguido de un reactor tipo carrusel.

Además, en esta etapa del tratamiento se realizará la remoción de los nutrientes presentes en el efluente. Para esto se proponen diversas alternativas, de acuerdo al nutriente a remover. Para el caso del nitrógeno, se evaluarán los siguientes sistemas:

- Sistema de Nitrificación/Desnitrificación biológica
- Eliminación de nitrógeno mediante procesos físicos y químicos

Por otro lado, en cuanto al fósforo se propone analizar los siguientes sistemas de remoción:

- Eliminación biológica del fósforo
- Eliminación del fósforo por adición química

Por último, el tratamiento del efluente finalizará con un tratamiento terciario, con el objetivo de eliminar cualquier patógeno proveniente de la materia prima y que pueda afectar el cuerpo de agua donde será volcado el efluente tratado.

En las siguientes secciones, se describirá cada una de las unidades de tratamiento elegidas y se justificará su elección, a fin de seleccionar y llevar a cabo el tratamiento que resulte más adecuado para el efluente a tratar.

III.I. Pretratamiento y tratamiento primario

III.I.I Rejas

La primera etapa del pretratamiento constará de un sistema de rejas, para retener cualquier tipo de sólidos de gran tamaño que puedan provocar un mal funcionamiento de las unidades siguientes, obstrucción de cañerías o dañar las bombas.

Una vez que el efluente sea retirado de la planta productiva a través de cañerías, éste atravesará el enrejado compuesto por barrotes verticales. Aquellos sólidos retenidos deberán ser removidos con cierta frecuencia, con el fin de evitar cualquier tipo de obstrucción en la cañería que pueda llegar a modificar el caudal de ingreso. La limpieza puede ser tanto manual como automática, lo cual dependerá de la cantidad de sólidos retenidos y los costos de ambos sistemas.

Todos los sólidos removidos deberán ser dispuestos adecuadamente, de acuerdo a lo normado por la autoridad de aplicación.



Figura III.I.I Esquema del sistema de rejas. Fuente: Sica.

III.I.II Tamiz

La función del tamiz es la de separar sólidos pequeños del efluente a tratar. Para esto, el efluente a tratar ingresa al cilindro filtrante, el cual está girando constantemente, y atraviesa la malla de filtración. Esto permite la salida de agua del efluente, obteniendo así un líquido libre de sólidos. Poseen un gran rendimiento ya que son capaces de retener partículas de entre 0,15 a 5 milímetros, además es posible acoplar un sistema autolimpiante con el fin evitar la saturación de los equipos por exceso de sólidos. ^[12]

Son construidos en acero inoxidable, y tanto su mantenimiento mecánico como de limpieza son mínimos. Además el consumo de energía es bajo en caso de que se le acople un sistema de limpieza automático. ^[12]

Tomando en cuenta las grandes cantidades de sólidos suspendidos presentes en el efluente, producto de tareas como el desbarbado y eviscerado de la materia prima, sumado a la presencia de escamas, resulta necesaria la instalación tanto del sistema de rejas como del tamiz.



Figura III.I.II Esquema del tamiz. Fuente: Wam Group.

III.I.III Sistema de flotación por aire inducido

El sistema de flotación por aire inducido (IAF) permite remover grasas, aceites y sólidos en suspensión con elevadas tasas de remoción y simplicidad constructiva y operativa.

El líquido a tratar es conducido a través de un tanque de sección rectangular y forzado a atravesar una corriente de microburbujas de aire que adhiriéndose a la particular presentes las lleva a la superficie. Mediante un barredor superficial los sólidos son retirados de la cámara de separación. Las microburbujas son producidas por un aireador el cual es montado en la zona de alimentación de la cámara de separación con el motor de accionamiento fuera del líquido. En su parte inferior posee un disco difusor con pequeños orificios en su perímetro. El motor hace rotar al disco difusor creando una zona de baja presión que succiona aire o gas desde la superficie por medio de un conducto dispuesto para tal fin. Una vez en el disco el aire o gas es expulsado del disco a través de los orificios perimetrales. El disco rotante divide al aire en microburbujas de entre 10 y 100 micrones de diámetro. Estas burbujas se adhieren a las partículas presentes en el líquido tales como grasa y aceites. Las burbujas lentamente alcanzan la superficie arrastrando a las partículas a las que se adhieren. ^[34]

El equipo será provisto por un proveedor con sus especificaciones y dimensiones acordes a la caracterización del efluente en cuestión.

III.I.IV Tanque de ecualización

El mencionado tanque se ubica previo los tratamientos primario y secundario, para asegurar el buen funcionamiento de las unidades.

La función principal de este, es asegurar una mezcla adecuada para obtener un efluente homogéneo, con valores constantes de sus parámetros y garantizar un correcto tratamiento. Además, lo que se busca al implementar este tipo de tanques es mantener un caudal de ingreso constante.

La mezcla continua dentro del tanque será posible gracias a una serie de aireadores en el fondo del mismo.



Figura III.I.III Esquema del tanque de homogeneización. Fuente: Master Builder Solutions.

III.I.V Sedimentador primario

La sedimentación consiste en el proceso de separación de las partículas suspendidas en el efluente cuyo peso específico es mayor que el del agua, gracias a la acción de la gravedad. El funcionamiento de este tipo de unidad es gracias a un proceso exclusivamente físico, relacionado exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas suspendidas.

El principal beneficio de este paso es la obtención de un efluente clarificado, y por otro lado se obtendrá un concentrado de partículas que luego deberá ser enviado a disposición final de acuerdo a lo reglamentado por la autoridad de aplicación. Este tipo de proceso también es utilizado luego del tratamiento secundario biológico, para eliminar cualquier tipo de lodo remanente en el efluente, por lo cual será necesario añadir un sedimentador secundario previo al tratamiento terciario.

La separación de las partículas suspendidas y el efluente líquido, provocará en este último un descenso en el valor de DQO. Este

descenso se puede observar en la diferencia reflejada entre los valores de DQO_T y DQO_S de la Tabla II.V.II.

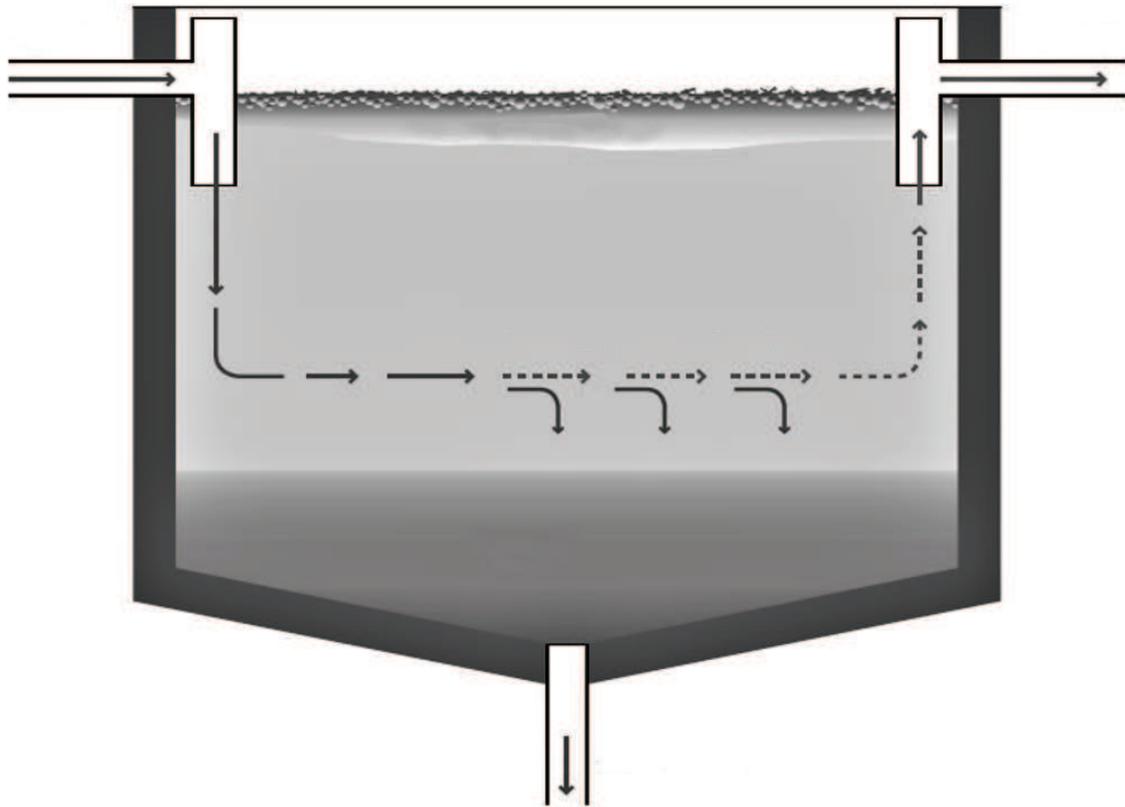


Figura III.IV Esquema del sedimentador primario. Fuente: SSWM.

III.II. Propuesta de tratamiento secundario biológico

Luego del tratamiento primario, el efluente ya estará acondicionado de manera tal de ingresar al tratamiento biológico secundario. Para esta etapa del tratamiento, se proponen dos alternativas, y luego se detalla la elección final. Para la decisión final se tomarán en cuenta las eficiencias de cada tratamiento, los costos y el espacio ocupado, para así diseñar el más conveniente.

III.II.I Lodos activos ^[13]

La primera propuesta consta de un sistema de lodos activos, compuesto por un reactor de aireación con biomasa suspendida y donde se formarán los flóculos, seguido por un tanque de sedimentación donde estos flóculos decantarán.

Durante la primera etapa del proceso, los aireadores dispuestos en el fondo del tanque suministran el oxígeno necesario a las bacterias para formar los flóculos que degradan el material biológico. Además, estos equipos favorecen el mezclado, necesario dentro del reactor.

En la segunda etapa del tratamiento, se produce la separación de los flóculos del agua presente en el efluente. Este proceso se realiza por gravedad, de igual manera que lo descrito en el inciso III.I.IV. Una vez realizada la separación, se recupera el sobrenadante ya libre de compuestos carbonosos, nitrogenados y fosforados. Una fracción de los lodos acumulados en el fondo del sedimentador será recirculada nuevamente hacia la primera etapa del proceso, mientras que la fracción restante será purgada evitando así su envejecimiento. Esto se hace con el objetivo de mantener una tasa de biomasa constante, asegurando entonces la eficacia del tratamiento. Este sistema de tratamiento presenta eficiencias de remoción de DBO de alrededor del 95%.

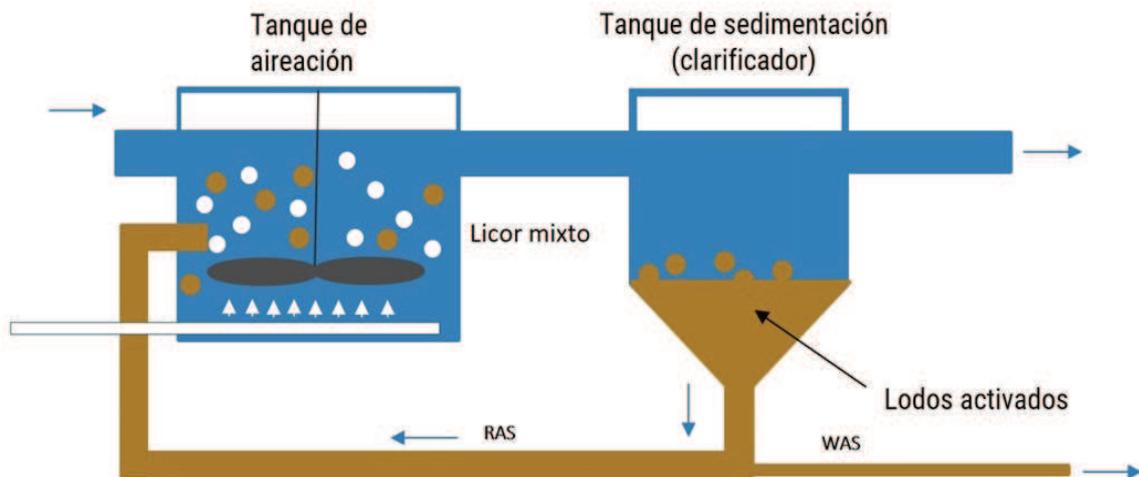


Figura III.II.I Esquema del sistema de lodos activos. Fuente: Cropaia.

III.II.II Lecho percolador y sistema carrusel ^[13]

Los filtros percoladores son una variante del tratamiento de lodos activos, que consiste en un lecho compuesto de un material filtrante permeable, donde la biomasa se encuentra fija. En la superficie del filtro, se dispone un distribuidor rotativo que distribuye el efluente de manera uniforme sobre todo el lecho, permitiendo así que el líquido atraviese el medio filtrante, el cual puede estar compuesto de piedras o de algún material plástico.

En la parte inferior del filtro, se recoge todo el líquido que ya fue tratado y todos los sólidos biológicos que se hayan separado del relleno del filtro.

Gracias a la acción de la capa de microorganismos adheridos al relleno del filtro, la materia orgánica presente en el efluente será degradada y a medida que esto suceda, ésta capa adherida al relleno irá aumentando su espesor, generando así un ambiente anaeróbico en la capa más próxima a la superficie del relleno. Los organismos que se encuentren en la parte superficial de la capa, pierden capacidad de adherencia al medio por lo que serán arrastrados con el paso del efluente por el filtro. Esto permitirá entonces, el crecimiento de una nueva capa. Las eficiencias de remoción de estos filtros dependen del tipo de filtro seleccionado, ya que los de baja carga presentan entre un

80-90%, los de carga media entre un 50-70% y los de alta carga un 65-85% de remoción.

Los lechos percoladores funcionan como una unidad biológica primaria, por lo que deben ir acoplados a otro sistema de tratamiento biológico secundario para que sea una unidad completa. En particular, para el caso de la industria en cuestión, se considera oportuno la adición de un sistema carrusel (también llamada zanja de oxidación). Este sistema consiste de un tanque cerrado de forma oval, donde se produce una constante recirculación, mezclado y aireación del efluente, factor clave en este tipo de sistemas. Para cumplir con estas condiciones, el efluente es aireado y recirculado gracias a la acción de aireadores mecánicos, los cuales son dispuestos verticalmente para cumplir con lo anterior mencionado y evitar la sedimentación de sólidos.

Además los sistemas carrusel se caracterizan por proveer condiciones aerobias, anóxicas y anaerobias en el mismo tanque, dado que la aireación es por etapas. Esto trae como ventaja la posible nitrificación en la porción aerobia y la desnitrificación en la parte anóxica del tanque, removiendo así parte del nitrógeno presente en el efluente. Además cuentan con una potencial capacidad para remover fosfatos. Luego de este sistema será necesario un tanque de sedimentación secundario, donde una parte de los lodos sedimentados será recirculada al tanque aireado y otra parte será purgada. [14]

Sin embargo, este tipo de sistemas presenta un gran requerimiento de oxígeno para la eliminación de carbono, lo cual se traduce como una gran demanda por parte de los aireadores, aumentando así tanto los costos de inversión como de mantenimiento. Otro punto en contra de estos sistemas es la gran superficie de terreno requerida, encareciendo aún más los costos de inversión.

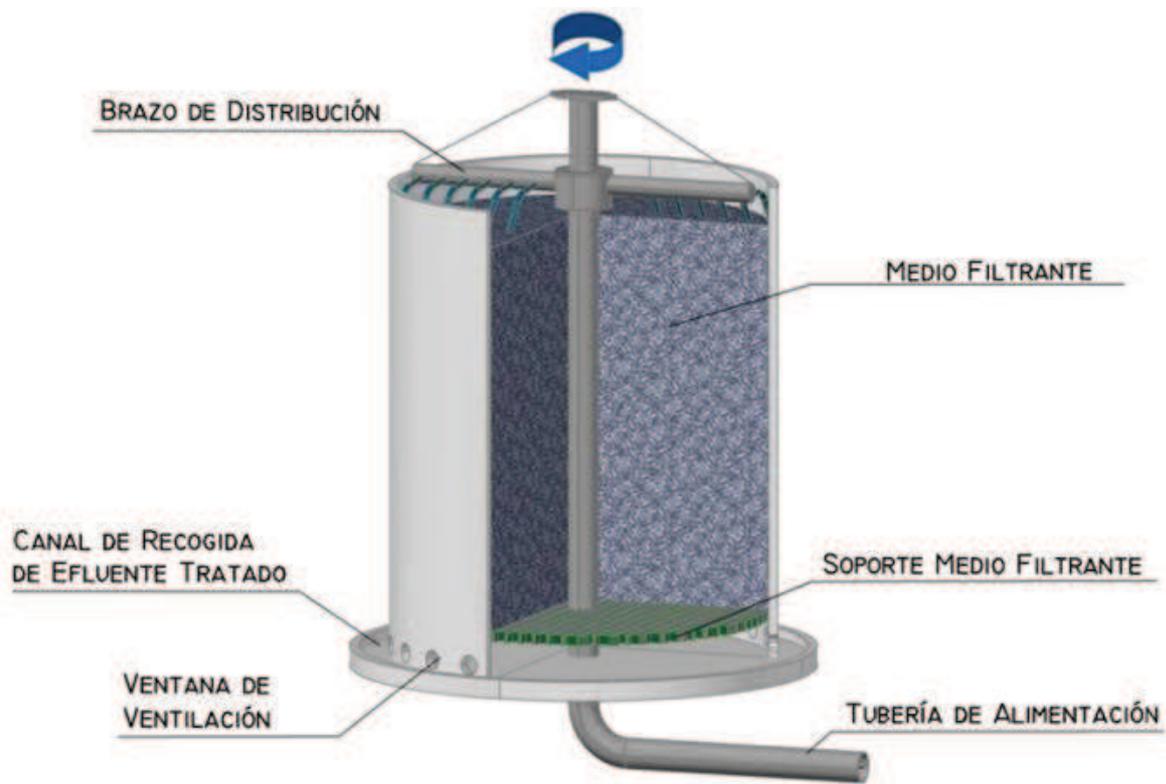


Figura III.II.II Esquema del lecho percolador. Fuente: ¡Agua.

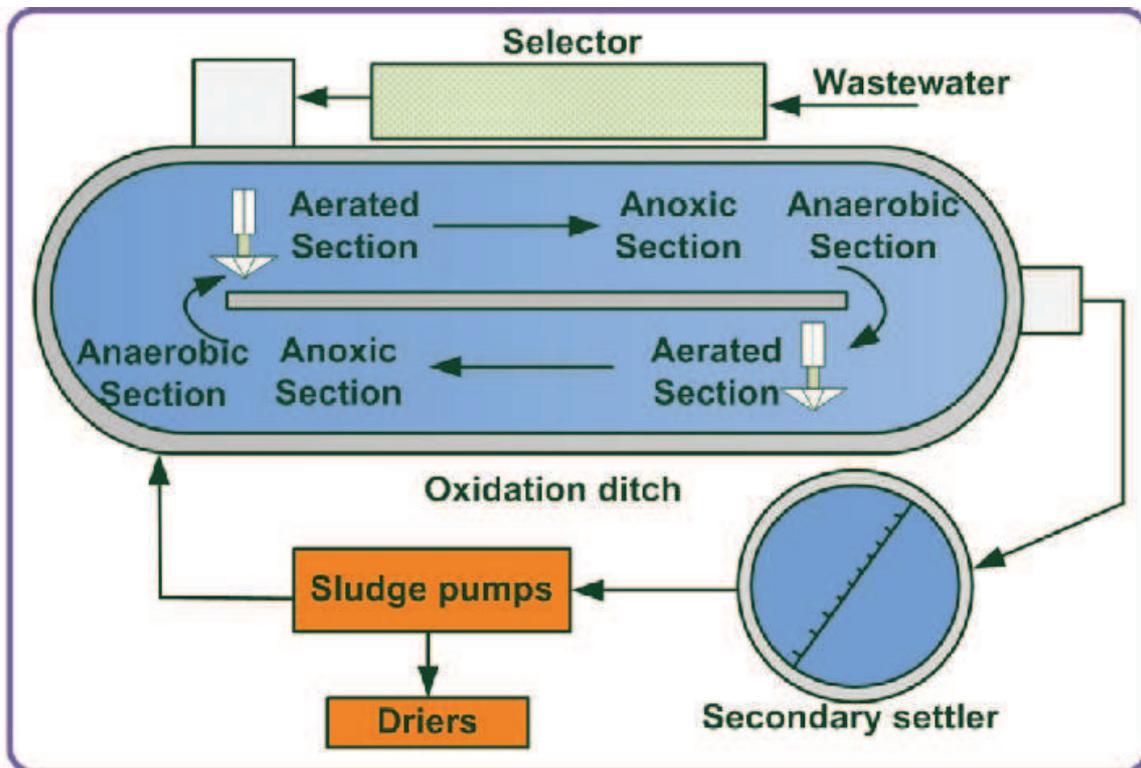


Figura III.III. Esquema del sistema carrusel. Fuente: ResearchGate.

III.III. Remoción de fósforo y nitrógeno

Uno de los puntos importantes a tener en cuenta para el tratamiento adecuado del efluente, es la remoción de los nutrientes presentes. La remoción adecuada de ellos, evitará una posible eutrofización del cuerpo de agua receptor. En el presente apartado se propone describir y analizar dos alternativas de remoción para cada uno de los nutrientes, con el fin de elegir aquella que resulte más conveniente.

III.III.I. Eliminación de nitrógeno mediante Desnitrificación/Nitrificación biológica ^[13] ^[15]

El proceso biológico para la remoción del nitrógeno presente en el efluente es el más utilizado en plantas de tratamiento debido a su elevado rendimiento, la alta estabilidad y facilidad de control del proceso y gracias a su bajo costo y espacio ocupado. Se trata de un proceso de dos etapas. En la primera, la nitrificación, el amoníaco se convierte en nitrato (NO_3^-) por vía aerobia gracias a la acción de

diversos tipos de bacterias. En la desnitrificación, el NO_3^- se convierte en nitrógeno gaseoso por la acción de bacterias anaerobias.

Ambos procesos se pueden clasificar en procesos de cultivo en suspensión y procesos de cultivo fijo. Además, estos procesos pueden llevarse a cabo tanto en reactores separados como en un sólo reactor.

En caso de utilizar el mismo reactor para la nitrificación y la eliminación de la materia orgánica carbonosa, si se opta por un cultivo fijo, en ocasiones de caudal punta el reactor es susceptible a dejar pasar el amoníaco sin oxidar y en ocasiones generar un arrastre de sólidos. Es por esto que resulta conveniente optar por un sistema de cultivo suspendido, como es el caso del tratamiento por lodos activos.

Para el caso de la desnitrificación, en caso de realizarse en el mismo reactor que la eliminación de la materia carbonosa, la ventaja reside no solo en su alto rendimiento, sino también en la posibilidad de utilizar el carbono presente en el efluente como fuente de energía para la transformación al nitrógeno gaseoso y el ahorro en costos y espacio ya que se evita la construcción de otros reactores.

Para lograr una eficiente remoción de nitrógeno mediante estos dos procesos (Desnitrificación/Nitrificación), se propone la implementación del proceso Bardenpho de 4 etapas, el cual consiste de cuatro reactores donde 2 son anóxicos y 2 son aeróbicos. Estos se disponen de forma intercalada, es decir, uno anóxico, luego un aeróbico seguido por el segundo anóxico y por último el segundo reactor aeróbico, con una recirculación que va desde el primer reactor aeróbico al primer reactor anóxico.

Al ingresar en el primer reactor anóxico, el efluente se mezcla con el efluente recirculado proveniente del reactor aeróbico, por lo que este suministro sirve como alimento para los microorganismos que se encuentran en el primer reactor. Aquí parte de los compuestos nitrogenados son reducidos a nitrógeno gaseoso.

Luego, al pasar al segundo reactor, comienzan a realizarse las primeras actividades microbianas comenzando por la oxidación de las moléculas de amonio, la degradación de la materia orgánica y la transformación de esta misma en CO_2 . El amonio que se ha oxidado a nitrato o que se queda en el camino en forma de nitrito se separa

siguiendo una de las dos vías disponible, la primera que es la recirculación del licor que contiene una gran concentración de nitratos y nitritos o la segunda vía que es seguir el transcurso hacia el tercer reactor.

Al ingresar al tercer reactor, el efluente contiene oxígeno el cual es consumido inmediatamente en cuanto ingresa. En esta fase se incorporan nitritos, nitratos, amonio, oxígeno disuelto y otra variedad de compuestos que no son tratados precisamente en esta parte. Durante el paso del efluente del reactor uno al dos, las bacterias no logran oxidar la totalidad del amonio (NH_4^+), por lo que parte de este amonio residual llega al tercer reactor. Esta unidad post-anóxica cumple la función de disminuir al máximo posible la concentración de compuestos nitrogenados restantes. Al igual que en el primer reactor, el nitrato y el nitrito son transformados en nitrógeno gaseoso.

Finalmente, en el cuarto y último reactor, son oxidados mediante nitrificación los últimos compuestos nitrogenados para obtener nitritos y nitratos y el nitrógeno gaseoso es devuelto al medio ambiente. Aquellos nitritos y nitratos que no lograron ser removidos pasarán al sedimentador secundario donde podrán ser recirculados, junto con los lodos, al primer reactor anóxico.

III.III.II. Eliminación de nitrógeno mediante procesos físicos y químicos

Los procesos de remoción de nitrógeno mediante procesos físicos y químicos mayormente empleados son el arrastre con aire, la cloración al breakpoint y el intercambio iónico selectivo. A continuación, se describirá cada una de estas tecnologías, presentando también sus ventajas y desventajas.

- Cloración al breakpoint: para este proceso, lo que se hace es añadir cloro al agua residual para oxidar el nitrógeno amoniacal de la solución, a nitrógeno gaseoso y diversos compuestos estables. El intervalo óptimo de pH para la cloración es de entre 6 y 7. Fuera de este rango, la cantidad de cloro necesaria aumenta considerablemente, mientras que la velocidad de reacción se reduce. Este proceso se lo suele incorporar a continuación de la nitrificación biológica. La ventaja de esta tecnología es la posibilidad de oxidar todo el nitrógeno presente

en el efluente y de actuar como desinfectante del mismo. Sin embargo, presenta varias desventajas, como la posibilidad de generar un elevado nivel de cloro residual que puede actuar como un agente tóxico, la sensibilidad a fluctuaciones en el pH y la necesidad de contar con personal altamente calificado.

- Arrastre con aire: esta tecnología consiste en pasar un flujo de aire en contracorriente al efluente, a través de una columna empacada con diferentes materiales de relleno. Al estar en un rango de pH de 10,8 a 11,5, el amoníaco presente en el efluente reacciona con el agua formando hidróxido de amonio. Para alcanzar estos valores de pH, se añade cal viva o soda cáustica, logrando así la conversión del amonio en amoníaco gaseoso. El punto a favor de este tipo de tratamiento es que no es sensible a tóxicos y además se trata de un proceso controlable para alcanzar rendimientos de eliminación de amoníaco preestablecidos. De todos modos, tiene varios puntos en su contra, como la alta sensibilidad a la variación de temperatura y la necesidad de utilizar cal en el proceso, lo cual encarece el tratamiento. Además, debido al uso de cal, es muy probable que se formen incrustaciones en las distintas unidades y cañerías.
- Intercambio iónico selectivo: este es un proceso mediante el cual iones de diversas especies presentes en una solución, desplazan los iones de otra especie presentes sobre una materia insoluble de intercambio. Este proceso puede hacerse tanto de forma continua como discontinua. En el procedimiento discontinuo, la resina se mezcla y agita con el efluente dentro de un reactor, para luego separarse por sedimentación y su posterior regeneración y reutilización. En el caso de ser continuo, el material insoluble se coloca dentro de una columna a través de la cual se hace circular el efluente. Los puntos a favor que presenta esta variante son la posibilidad de producir un producto recuperable como el amoníaco, la facilidad en el control de calidad del producto y la eficiencia del proceso ante escenarios desfavorables. Sin embargo, presenta grandes desventajas, como los grandes costos de inversión y uso, la necesidad de incorporar otro proceso para la regeneración de la

resina y el tener que contar con personal altamente calificado para la operación.

Sin embargo, se observa un limitado uso de estas tecnologías debido al coste, su funcionamiento irregular y los problemas de mantenimiento y operación.

Debido a que este tipo de tecnologías presentan numerosas desventajas, no serán consideradas en la elección final para la remoción de este nutriente.

III.III.III. Eliminación biológica del fósforo mediante proceso PhoStrip

Para la remoción de fósforo mediante el proceso PhoStrip, una parte del fango recirculado del tratamiento biológico debe ser desviada a un tanque anaerobio de eliminación de fósforo. El tiempo de retención en este tanque es de entre 8 y 10 horas. Luego el fósforo liberado en este tanque es extraído junto con el sobrenadante y el fango con bajo contenido de fósforo se recircula al tanque de aireación.

El sobrenadante es tratado con cal en un tercer tanque independiente y conducido al sedimentador primario para separar los sólidos. Finalmente el fósforo se extrae del sistema como componente del precipitado químico.

La ventaja de un sistema PhoStrip asociado a un sistema de lodos activados como el propuesto, es la capacidad de obtener consistentemente efluentes con contenidos totales de fósforo inferiores a 1,5 mg/l antes de la filtración. (Tchobanoglus y Burton, 1995)

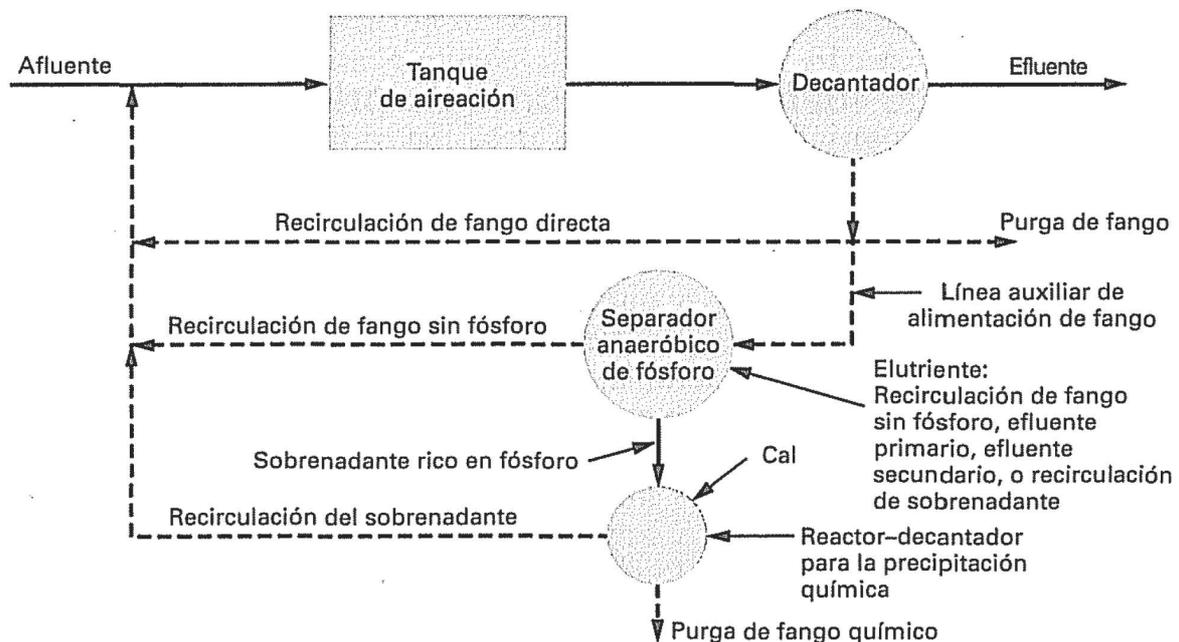


Figura III.III.I Esquema del sistema PhoStrip. Fuente: Tchobanoglous y Burton, 1995.

III.III.IV. Eliminación del fósforo por adición química

La remoción de fósforo puede realizarse por precipitación gracias a la adición química de sales metálicas, como las de hierro o aluminio, en diferentes puntos del proceso.

En particular, en plantas de tratamiento que cuentan con filtros percoladores o sistemas de lodos activos como la proyectada, se considera adecuada la adición de sales metálicas en el tratamiento secundario. Se ha demostrado que la adición de estas sales presenta buenos resultados a cualquier pH entre 5,5 y 7,0. Además la adición de estos productos químicos mejora las características de sedimentabilidad y reduce los niveles de DBO. La eficiencia de este proceso puede alcanzar el 95% utilizando sales de aluminio y adecuando la relación molar entre este elemento y el fósforo. (Tchobanoglous y Burton, 1995)

III.IV. Selección preliminar del tratamiento secundario

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de los sistemas, presentadas en la Tabla III.IV.I, y sus principios de funcionamiento, el tratamiento biológico secundario seleccionado será el de lodos activos con remoción biológica de nitrógeno mediante proceso Bardenpho de 4 etapas .

Esto se debe a que es el tratamiento que presenta mayores eficiencias de remoción de DBO y de sólidos, detalladas en la Tabla III.IV.II. Por su parte, la remoción de fósforo se hará mediante la adición química de sales metálicas en diferentes puntos del proceso, ya que esta metodología es adecuada en plantas de tratamiento de lodos activados.

Sin embargo, antes de tomar una decisión final, se debe comprobar que el tratamiento propuesto cumpla con los requisitos de vuelco establecidos por la normativa. Además, debe tomarse en cuenta el análisis económico para determinar cuál es la alternativa más beneficiosa. Este análisis se hará en los capítulos posteriores para así tomar una decisión final.

Tabla III.IV.I. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de ambas tecnologías.

| Tratamiento | Ventajas | Desventajas |
|--|---|---|
| Lodos activos con remoción biológica de nitrógeno mediante proceso Bardenpho de 4 etapas | <ul style="list-style-type: none"> • Baja inversión inicial • Alta capacidad para remoción de nutrientes • Bajo riesgo de producción de olores • Gran flexibilidad ante variaciones en la carga orgánica e hidráulica | <ul style="list-style-type: none"> • Requieren un gran espacio para su emplazamiento • Elevados tiempos de residencia |
| Lecho percolador y sistema carrusel | <ul style="list-style-type: none"> • No requieren mucho espacio para su emplazamiento • Rápida reducción de carga orgánica, por ende son bajos los tiempos de residencia • Bajo consumo de energía | <ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión inicial • El lecho percolador por sí sólo no presenta capacidad para remover nutrientes • Necesidad de acoplar dos tratamientos para una mejor eficiencia • Limitada flexibilidad ante variaciones operativas • Generación de olores y presencia de moscas |

Tabla III.IV.II. Tabla comparativa de eficiencias de remoción de ambas tecnologías.

| Tratamiento | Eficiencias de remoción | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------|-----------|
| | DBO | DQO | SS |
| Lodos activos | 95-99% | 90-98% | 80% |
| Lecho percolador y sistema carrusel | 80% | 70% | 80% |

El sistema de tratamiento, de acuerdo a una primera aproximación, resultaría entonces de acuerdo a lo indicado en la Figura III.VII.I.

III.V. Tratamiento terciario

Una vez finalizado el tratamiento secundario, y obtenido el efluente acorde a los límites de vuelco normados, éste ingresará a la cámara de desinfección. El objetivo de esta última etapa del tratamiento es garantizar un efluente libre de patógenos, asegurando así su inocuidad antes de su vuelco sobre el río Paraná.

Para este tratamiento será necesaria entonces una cámara de cloración, la cual tendrá forma laberíntica con el fin de garantizar el tiempo de contacto necesario para una desinfección efectiva.



Figura III.V.I Esquema de la cámara de cloración. Fuente: Dr. Lucas Bouchard Señoret, Cloración en salud pública.

III.VI. Cámara de muestreo

La construcción de una cámara de muestreo al final del tren de tratamiento será necesaria para permitir el monitoreo de los parámetros de salida antes del vuelco, tanto para el control interno de la empresa como para el control por parte de la autoridad de aplicación.

III.VII. Esquema general de la planta propuesta

De acuerdo con lo descrito en los apartados anteriores y tomando en cuenta las consideraciones una primera aproximación de la planta de tratamiento de efluentes propuesta para la industria sería de acuerdo a lo esbozado en la Figura III.VII.I.

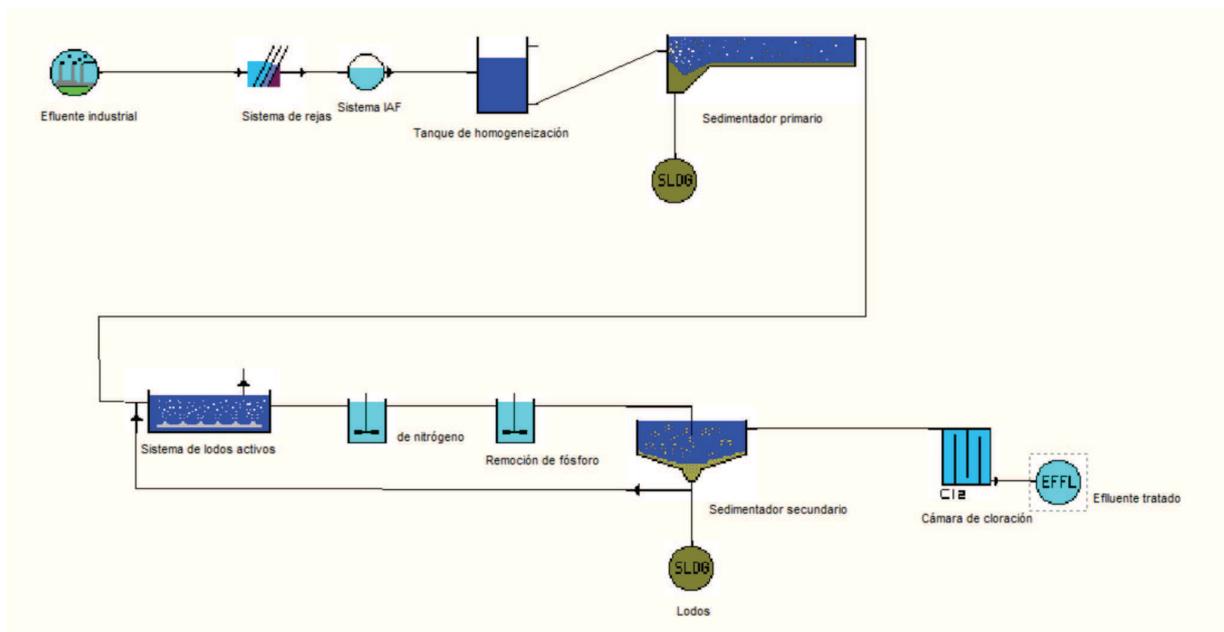


Figura III.VII.I Esquema de la planta diseñada, con el tratamiento secundario biológico seleccionado de manera preliminar. Fuente: elaboración propia.

Capítulo IV

Memoria de cálculo de las unidades del pretratamiento y tratamiento primario

IV.I. Rejas

Para el diseño de las rejas, se utilizó como modelo el caudal de la producción del mejillón ya que es el mayor y luego se comprobó que los parámetros verifiquen con el caudal del efluente de la producción de atún.

Se optó por un diseño de rejas circulares con limpieza manual dado que se trata de un caudal pequeño. Respetando la bibliografía, se adoptaron algunos valores a partir de los cuales se comenzó a realizar el dimensionamiento. Los valores adoptados están reflejados en la Tabla IV.I.I.

Tabla IV.I.I. Valores adoptados según bibliografía para el dimensionamiento de las rejas.^[11]

| Parámetro | Simbología | Valor |
|---|------------|-------|
| Tamaño de la barra (<i>mm</i>) | W | 5 |
| Factor de forma (circular) | β | 1,79 |
| Velocidad de acercamiento ($\frac{m}{s}$) | v | 0,3 |
| Separación entre barrotes (<i>cm</i>) | b | 2,5 |
| Ángulo de inclinación de la reja (grados) | θ | 15 |

Una vez adoptados los valores, y utilizando el caudal modelo (Q) y la velocidad de acercamiento (v), se calculó el área del canal a través de la siguiente ecuación:

$$A_c = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación 1}$$

Luego, se estimó un valor de ancho del canal (A_p) y se calculó la altura aguas arriba (h_v) de acuerdo a:

$$h_v = \frac{A_c}{A_p} \quad \text{Ecuación 2}$$

Luego se calculó la pérdida de carga (h_L) de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$h_L = \beta \times \left(\frac{w}{h}\right)^{4/3} \times h_v \times \text{sen}(\theta) \quad \text{Ecuación 3}$$

Dado que la velocidad de acercamiento debe estar dentro del rango $0,3-0,6 \frac{m}{s}$ y la pérdida de carga debe ser menor a $0,15$ m, se verificó que los valores de ambos parámetros están dentro de los valores establecidos por la bibliografía. Todos los valores obtenidos se encuentran reflejados en la Tabla IV.I.II.

Tabla IV.I.II. Valores utilizados para calcular la altura del canal.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|------------|-------|
| Caudal del proceso de mejillón ($\frac{m^3}{h}$) | Q | 23,68 |
| Caudal de verificación ($\frac{m^3}{h}$) | Q_{Ver} | 26,44 |
| Velocidad de acercamiento ($\frac{m}{s}$) | v | 0.300 |
| Área del canal (m^2) | A_c | 0,022 |
| Ancho del canal (m) | A_p | 0,400 |
| Altura aguas arriba (cm) | h_c | 5,480 |
| Pérdida de carga (m) | h_L | 0,002 |

Con todos los valores calculados, se obtuvieron las dimensiones finales del canal y las rejas. Para la altura total del canal (H), se estimó una cota de seguridad de $0,5$ metros y la suma de la pérdida de carga y la altura aguas arriba, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H = 0,5 m + h_v + h_L \quad \text{Ecuación 4}$$

Con la altura del canal y el ángulo de inclinación de las rejjas, se calculó el largo de estas, y con este valor el largo total que debe tener el canal. Finalmente, se calculó el número de barrotes y el número de espacios entre ellas. Los valores obtenidos para la unidad de rejjas se encuentran reflejados en la Tabla IV.I.III. Cabe destacar que al ancho del canal se le añadió un 20% más del valor estimado a modo de revancha para evitar inundar el canal.

Tabla IV.I.III. Dimensiones finales obtenidas para la construcción del canal.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|-------------------------------------|------------|-------|
| Altura del canal (<i>m</i>) | H | 1,00 |
| Ancho total del canal (<i>m</i>) | A | 0,48 |
| Longitud del canal (<i>m</i>) | L_c | 3,70 |
| Longitud de las rejjas (<i>m</i>) | L_R | 2,20 |
| Número de barrotes | N_B | 15 |

Debe tenerse en cuenta que se construirán dos sistemas de rejjas en paralelo, de forma que ante cualquier inconveniente que pueda ocurrir en uno de ellos, se asegure que el efluente siga siendo tratado correctamente.

IV.II. Tamiz

Para seleccionar el tamiz correspondiente, se tuvieron en cuenta las especificaciones dadas por el proveedor, las cuales son un tamiz de malla perforada, que puede trabajar con una carga de sólidos máxima de $800 \frac{mg}{l}$ y un caudal pico de $35 \frac{m^3}{h}$ para el caso de agua limpia. Dado que en este caso se trata de un efluente con carga de sólidos, se debe considerar una reducción del efluente pico de trabajo. Los valores de estos parámetros para ambas producciones, se encuentran reflejados en la Tabla IV.II.I.

Tabla IV.II.I. Valor del caudal y la carga de sólidos de ambas producciones.

| Parámetro | Mejillón | Atún |
|-------------------------------------|----------|--------|
| Caudal ($\frac{m^3}{h}$) | 26,44 | 20,92 |
| Carga de sólidos ($\frac{mg}{l}$) | 588,26 | 565,55 |

Dado que los valores de los parámetros para ambas campañas de producción se encuentran dentro de las especificaciones, se considera pertinente la implementación de un tamiz rotativo modelo TR 40/50 de la marca Toro Equipment con malla perforada de 2 mm de diámetro (ficha técnica en el Anexo I). El criterio utilizado para la selección del tamiz consistió en corroborar, para el diámetro de la malla perforada seleccionado, qué línea de tamiz se adaptaba al caudal a tratar. Luego, dentro de la línea de tamiz elegida, se verificó que modelo de esa familia de tamices se soportaba el volumen de efluente a tratar.

IV.III. Tanque de ecualización

El diseño del tanque de ecualización se realizó utilizando como modelo el caudal de la producción de mejillón dado que es el mayor. Para esto, se tomó el caudal diario (Q_D), que es de $634,50 \frac{m^3}{d}$, y se multiplicó por la cantidad de días trabajados (6). Con esto se obtuvo el caudal semanal (Q_{Sem}), el cual luego se dividió por 7 días, de forma tal de obtener un caudal de salida (Q_S) constante:

$$Q_{Sem} = Q_D \times 6 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Q_S = \frac{Q_{Sem}}{7} \quad \text{Ecuación 6}$$

Una vez obtenido Q_S , se calculó el caudal necesario a acumular (Q_A) por semana para garantizar que este sea constante y asegurar el correcto funcionamiento del tratamiento biológico:

$$Q_A = Q_{Sem} - Q_S \times 6 \quad \text{Ecuación 7}$$

Como Q_A debe ser acumulado en los días laborales, se obtuvo el volumen de efluente (Q_R) a retener por día laboral de acuerdo a:

$$Q_R = \frac{Q_A}{6} \quad \text{Ecuación 8}$$

Finalmente, se obtuvo el volumen correspondiente para el tanque de equalización (V_{EC}). Para esto se tuvo en cuenta que debe poder mantener el volumen de efluente que ingresa cada día y el caudal a acumular por día laboral, a lo cual se añade una cota de seguridad del 20%.

$$V_{EC} = (Q_D + Q_R \times 6) \times 1,2 \quad \text{Ecuación 9}$$

Se determinó que el tanque será de forma cilíndrica, con una altura de 6,00 m, un radio de 8,70 m, un área de 237,79 m² y un volumen de 1414,00 m³. La totalidad de las especificaciones para la construcción del tanque de equalización se encuentran detalladas en la Tabla VI.III.I

Para favorecer la mezcla dentro del tanque, se optó por la implementación de difusores de aire de burbuja gruesa, marca Repicky modelo CB-300 (ficha técnica en el Anexo II). Para determinar el número necesario de difusores, se consideró que el requerimiento de aire para una mezcla adecuada es de $0,037 \frac{m^3}{m^2 \times min}$ y que cada difusor provee 10 Nm³/h. Para satisfacer la necesidad de aire, será necesario incorporar un soplador de aire marca Repicky, modelo R1.5 (ficha técnica en el Anexo III) que provee 1.288 m³/h de aire trabajando a una potencia de 8 HP.

Resulta importante resaltar que luego del tanque de equalización, las unidades de tratamiento siguiente recibirán siempre un caudal de salida (Q_S) constante de manera tal de asegurar un correcto tratamiento del efluente.

Las características del tanque a construir se pueden ver resumidas en la Tabla IV.III.I presentada a continuación.

Tabla IV.III.I. Especificaciones del tanque de equalización a construir.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|---|------------|---------|
| Área del tanque (m^2) | A_{EC} | 237,79 |
| Altura del tanque (m) | H_{EC} | 6,00 |
| Radio del tanque (m) | R_{EC} | 8,70 |
| Volumen del tanque (m^3) | V_{EC} | 1426,00 |
| Caudal de difusores ($\frac{Nm^3 \text{ de aire}}{\text{hora}}$) | Q_{Dif} | 10,00 |
| Cantidad de difusores | - | 243 |
| Densidad de difusores ($\frac{\text{difusores}}{m^2}$) | - | 1,02 |
| Caudal de salida ($\frac{m^3}{d}$) | Q_s | 543,86 |

IV.IV. Sedimentador primario

El diseño del sedimentador se realizó a partir del caudal de salida del equalizador ($543,86 \frac{m^3}{d}$). Se estimó una carga superficial (C_{Sup}) de $42 \frac{m^3}{m^2 \times d}$ y se consideró un tiempo de permanencia (t_p) de 100 minutos (lo recomendado por bibliografía es entre 90 y 150 minutos). Luego, se calculó el área del sedimentador (A_{Sed}) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_{Sed} = \frac{Q_s}{C_{Sup}} \quad \text{Ecuación 10}$$

El siguiente paso fue adoptar una altura para el sedimentador (H_{Sed}). Considerando que debe estar dentro del rango $3 m < H_{Sed} < 5 m$, se adoptó una altura de 3,5 metros. Con esta medida adoptada se obtuvo el volumen del sedimentador (V_{Sed}) según:

$$V_{Sed} = A_{Sed} \times H_{Sed} \quad \text{Ecuación 11}$$

Se definió un sedimentador de forma cilíndrica, con una pendiente (θ) en la tolva de la parte inferior, de forma tal de asegurar una sedimentación

uniforme de los barroes. Luego se calculó la altura (H_{Con}) y el volumen (V_{Con}) del cono inferior y, con estos datos, la altura ($H_{F.Sed}$) y el volumen ($V_{F.Sed}$) definitivos del sedimentador de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$H_{Con} = r_{Sed} \times \tan(\theta) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$V_{Con} = \frac{\pi \times (r_{Sed})^2 \times H_{Con}}{3} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$H_{F.Sed} = H_{Sed} + H_{Con} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$V_{F.Sed} = V_{Sed} + V_{Con} \quad \text{Ecuación 15}$$

Por último, se decidió incorporar un barredor para facilitar la purga de los lodos en la parte inferior del sedimentador. Para el dimensionamiento final, se consideró un margen de seguridad del 20% a todas las medidas calculadas. En la tabla IV.IV.I se pueden observar, a modo de resumen, las medidas finales del sedimentador primario.

Tabla IV.IV.I. Especificaciones del sedimentador primario a construir.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|------------------------------------|------------|-------|
| Área del sedimentador (m^2) | A_{Sed} | 13,53 |
| Altura del sedimentador (m) | H_{Sed} | 3,96 |
| Diámetro del sedimentador (m) | D_{Sed} | 4,15 |
| Volumen del sedimentador (m^3) | V_{Sed} | 53,56 |
| Perímetro del sedimentador (m) | P_{Sed} | 13,03 |

En los apartados siguientes se desarrolla el modelado de las zonas de entrada y salida del sedimentador.

IV.IV.I Zona de entrada

El efluente ingresará a la unidad a través de un cilindro concéntrico ubicado en el centro del sedimentador. Este tubo tendrá un diámetro que será equivalente al 19% del diámetro sedimentador y su altura será de 1,5 metros. El ingreso del efluente al sedimentador será mediante orificios en el tubo concéntrico, a través de los cuales el

líquido debe salir a una velocidad de entre 0,30 a 0,45 $\frac{m}{s}$. Estos orificios estarán en los primeros 50 centímetros del tubo, para asegurar una disipación de energía previa al ingreso.

Para el diseño de la zona de entrada, se adoptó una velocidad de ingreso (V_o) de 0,3 $\frac{m}{s}$ y utilizando el caudal modelo, se calculó el área total de orificios (A_p) necesaria para cumplir con este requisito, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_p = \frac{Q}{V_o} \quad \text{Ecuación 16}$$

Luego se obtuvo la cantidad de orificios (N_o), necesaria para cubrir toda el área de entrada. Para esto se adoptó un diámetro de orificio (D_o) y se calculó la cantidad de acuerdo a:

$$N_o = \frac{A_p}{D_o} \quad \text{Ecuación 17}$$

Por último, se estimó un número de filas y de columnas que permita disponer de manera uniforme los orificios alrededor del tubo concéntrico. Los valores obtenidos y adoptados para todos los cálculos se ven reflejados en la Tabla IV.IV.II.

Tabla IV.IV.II. Especificaciones del área de entrada al sedimentador.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|------------|-------|
| Área total de orificios (m^2) | A_p | 0,021 |
| Velocidad de ingreso al sedimentador ($\frac{m}{s}$) | V_o | 0,30 |
| Diámetro de cada orificio (m) | D_o | 0,015 |
| Número de orificios | - | 30 |
| Número de filas | - | 6 |
| Número de columnas | - | 5 |

Mediante la ecuación presentada debajo, se verificó que la velocidad de salida del efluente a través de cada orificio no sea mayor al rango recomendado.

$$V_o = \mu \times C \times \sqrt{2 \times g \times h} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

V_o : velocidad de paso del efluente por los orificios ($0,3 \frac{m}{s}$)

μ : coeficiente de descarga, en este caso se tomó 0,6 (pared delgada)

C : coeficiente de gasto (Δh), se consideró 5 cm.

g : valor de la gravedad ($9,8 \frac{m}{s}$)

h : diferencia de altura entre los orificios del tubo.

IV.IV.II Zona de salida

La zona de salida del sedimentador constará de una serie de vertederos, para lo cual se adoptó una velocidad (V_{can}) de $0,25 \frac{m}{s}$ del efluente en la canaleta de salida. Para calcular el área (A_{can}) necesaria para la canaleta, se utilizó el caudal que se incorporó a la ecuación presentada a continuación:

$$A_{can} = \frac{Q}{V_{can}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Luego se estimó un caudal de recolección, el cual hace referencia al volumen de efluente que sale del sedimentador por unidad de tiempo y metro lineal (Q_{can}) el valor adoptado fue de $2,50 \frac{L}{s * m \text{ lineal}}$. La altura de la canaleta (H_{can}) se estableció en 0,50 metros. Con los datos obtenidos y estimados, se calculó el ancho de la canaleta (W_{can}) de acuerdo a:

$$W_{can} = \frac{A_{can}}{H_{can}} \quad \text{Ecuación 20}$$

El paso siguiente fue el largo total del vertedero, es decir, la longitud útil (L_v) que permita el paso del caudal de modelo según:

$$L_V = \frac{Q}{Q_{Can}} \quad \text{Ecuación 21}$$

Esta longitud será dividida a lo largo de todo el perímetro del sedimentador. Para esto, se adoptó una altura del vertedero (H_{Ver}) y una geometría del tipo Thomson. Con estos datos se determinó la cantidad necesaria de vertederos en el perímetro para cumplir con la longitud útil. El caudal unitario (Q_{Ver}) arrojado por cada vertedero fue calculado de acuerdo a:

$$Q_{Ver} = 1,34 \times (H_{Ver})^{2,47} \quad \text{Ecuación 22}$$

Para calcular el número de vertederos, se estimó el ancho para cada vertedero, el cual será de 2 veces la altura de estos. Con este valor, se obtuvo la cantidad de vertederos (N°_{Ver}) y la distancia entre ellos (D_{Ver}) a partir de las siguientes ecuaciones:

$$N^{\circ}_{Ver} = \frac{L_V}{W_{Ver}} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$D_{Ver} = \frac{(P_{Sed} - L)}{N^{\circ}_{Ver}} \quad \text{Ecuación 24}$$

Las especificaciones obtenidas para la construcción de la zona de salida se encuentran especificadas en la Tabla IV.IV.III. A todos los valores obtenidos se les agregó un margen de seguridad del 20%.

Tabla IV.IV.III. Especificaciones del área de salida del sedimentador.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|---|------------|---------|
| Altura de la canaleta (m) | H_{Can} | 0,50 |
| Ancho de la canaleta (m) | W_{Can} | 0,05 |
| Altura del vertedero (cm) | H_{Ver} | 4,00 |
| Ancho del vertedero (cm) | W_{Ver} | 8,00 |
| Espacio entre vertederos (cm) | E_{Ver} | 27,45 |
| Caudal unitario del vertedero ($\frac{m^3}{s}$) | Q_{Ver} | 0,00048 |
| Número de vertederos | - | 38 |

IV.IV.III Barredor

Acorde a las dimensiones del sedimentador primario, se propone instalar un puente barredor de acero inoxidable con un sistema de recolección, que permita una mejor evacuación de los lodos sedimentados. En la Tabla IV.IV.IV. se encuentran detalladas las especificaciones técnicas del barredor, brindadas por el proveedor (ficha técnica en el Anexo V).

Tabla IV.IV.IV. Especificaciones técnicas del barredor seleccionado.

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------------|--------------|
| Marca | Jorsun |
| Modelo | ZXN4 |
| Diámetro (m) | 4,00 |
| Velocidad de giro ($\frac{m}{min}$) | 2,40 |
| Diámetro del tubo guía (m) | 0,60 |
| Potencia (kW) | 0,18 |

IV.IV.IV Zona de recolección de lodos

El área de recolección de lodos contará con una pendiente que permita el escurrimiento de los mismos hacia el fondo de la unidad, donde se hará efectiva su recolección a través de una tolva. La parte inferior de ésta debe contar con una cañería de desagüe para la evacuación de los lodos, donde estos no deben permanecer por más de 15 días a fin de evitar su descomposición. La sección mínima para esta cañería se calculó de acuerdo a:

$$A_{Com} = \frac{A_{Sed}}{4850 \times t_{Des}} \times \sqrt{P_U} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

A_{Com} : sección de la compuerta de desagüe (m²).

A_{Sed} : área que ocupa el sedimentador en planta (m^2).

t_{Des} : tiempo de descarga (h). Se consideró un tiempo de 5 horas.

P_U : profundidad útil del sedimentador (m).

En la Tabla IV.IV.IV. se pueden observar las medidas de la compuerta de desagüe del sedimentador.

Tabla IV.IV.V. Especificaciones del área de salida del sedimentador.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|-------------------|--------------|
| Área de la compuerta (cm^2) | A_{Com} | 29,22 |
| Diámetro de la compuerta (cm) | D_{Com} | 6,10 |

Memoria de cálculo de las unidades del tratamiento secundario biológico

En el presente apartado, y de acuerdo a lo descrito en la Memoria Descriptiva del Capítulo III, se dimensionan las 2 alternativas propuestas para el tratamiento biológico secundario, para luego realizar un análisis de costos de ambas y así determinar qué alternativa resulta conveniente para la planta proyectada.

Alternativa N° 1: Lodos activos con remoción biológica de nitrógeno

La alternativa N° 1 consiste en la remoción de nitrógeno mediante un proceso biológico denominado Bardenpho de 4 etapas. Este sistema consiste en 4 reactores en serie, 2 anóxicos y 2 aerobios, intercalados entre sí, comenzando por un anóxico, y en donde los 2 reactores aerobios tendrán un sistema de lodos activos para realizar la remoción de materia orgánica.

IV.V. Sistema de nitrificación

Para diseñar el sistema de remoción de nitrógeno, en primer lugar se calculó la tasa de nitrificación específica a 20°C y luego para la temperatura anual promedio de San Nicolás de los Arroyos. Ambas tasas se calcularon a través de las siguientes ecuaciones:

$$q_{N(20^{\circ})} = q_{N\text{máx}} \times \frac{N_o}{(0,4 + N_f)} \times \frac{OD}{(0,2 + OD)} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$q_{N(25^{\circ})} = q_{N(20^{\circ})} \times 1,09^{(25-20)} \quad \text{Ecuación 27}$$

En donde:

$q_{N(20^{\circ}C)}$: es la tasa de nitrificación específica a 20°C, expresada en d^{-1} .

$q_{N\text{máx}}$: es la tasa de nitrificación máxima, obtenida de bibliografía y cuyo valor es 1,3

N_o : representa la concentración de nitrógeno que ingresa en el sistema.

N_f : es la concentración de nitrógeno en la salida del sistema.

OD: representa la concentración de oxígeno disuelto en el efluente, y cuyo valor es de $2 \frac{mg}{l}$.

$q_{N(25^{\circ}C)}$: es la tasa de nitrificación específica a 25°C, expresada en d^{-1} .

Teniendo en cuenta que una parte del nitrógeno del efluente debe permanecer en el efluente para lograr una correcta remoción de la materia orgánica, (se asumen 5 mg de nitrógeno por cada 100 mg de DBO_5 removidos), se calculó el nitrógeno oxidable y la fracción de nitrificadores necesaria, a través de las ecuaciones presentadas a continuación, respectivamente:

$$N_{OX} = N_O - N_f - 0,08 \times a_H \times S_R - SON \quad \text{Ecuación 28}$$

$$f_N = \frac{0,15 \times q_{N(25^{\circ})}}{0,6 \times S_R + 0,15 \times q_{N(25^{\circ})}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

N_{OX} : es el nitrógeno a remover del sistema, el cual, teniendo en cuenta lo asumido en el párrafo anterior, es de $45.21 \frac{mg}{l}$.

a_H : es el coeficiente de rendimiento de los lodos para el efluente, asumido en 0,6 de acuerdo a la bibliografía.

S_R : representa la concentración de DBO_5 disponible en $\frac{mg}{l}$.

SON: es el nitrógeno orgánico no degradable, adoptado de bibliografía como $1 \frac{mg}{l}$.

f_N : es un parámetro adimensional que representa la fracción de organismos nitrificadores en el reactor aerobio.

Con los valores anteriores ya calculados, se obtuvo la velocidad de nitrificación de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r_N = q_N \times f_N \times X_V \quad \text{Ecuación 30}$$

En la ecuación presentada anteriormente, los parámetros r_N y X_V representan lo siguiente:

r_N : es la velocidad de nitrificación, expresada en $\frac{mg}{l \times d}$.

X_V : es la concentración de microorganismos en el reactor, en $\frac{mg}{l}$.

El último paso para finalizar con el diseño del sistema de nitrificación fue calcular el tiempo de retención hidráulico (t_N), de acuerdo a:

$$t_N = \frac{N_{OX}}{r_N} \quad \text{Ecuación 31}$$

Finalmente, con todos los datos ya calculados, se obtuvieron los parámetros necesarios para lograr una nitrificación efectiva dentro del reactor de lodos activos. Estos valores se pueden observar en la Tabla IV.V.I.

Tabla IV.V.I. Especificaciones para la construcción y operación de los reactores anóxicos.

| Parámetro | Simbología | Reactor aerobio N° 1 | Reactor aerobio N° 2 |
|--|------------|----------------------|----------------------|
| Tiempo de retención hidráulico (h) | t_H | 3,54 | 3,60 |
| Tiempo de nitrificación (h) | t_N | 3,50 | 3,62 |
| Producción de lodos ($\frac{mg}{l}$) | ΔX | 122,78 | 167,87 |
| Tiempo de retención celular (d) | Θ_C | 5 | 5 |
| Fracción de nitrificadores | f_N | 0,02 | 0,001 |

IV.VI. Sistema de desnitrificación

Para dimensionar los dos tanques de desnitrificación anóxicos, en primer lugar se calcularon los tiempos de retención hidráulico necesarios para la desnitrificación en cada uno de ellos, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{t_{DN}}{t_N} = \frac{q_N \times f_N \times f}{q_{DN} \times (1 - f_N)} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

t_{DN} : es el tiempo de detención hidráulico necesario para la desnitrificación (d).

t_N : es el tiempo de detención hidráulico necesario para la nitrificación (d).

q_N : es la tasa de nitrificación, en (d^{-1}) y estimada para una temperatura de 25°C.

f_N : es la fracción de nitrificadores, calculada en el apartado IV.V.

f : es el porcentaje de remoción de nitrógeno buscado para el sistema.

q_{DN} : es la tasa de desnitrificación, adoptada de bibliografía como 0,1 ($\frac{mg N}{mg SS \times d}$).

Una vez obtenidos los tiempos de retención, se calculó el nitrógeno a ser desnitrificado (N_{DN}), mediante la ecuación presentada a continuación:

$$N_{DN} = t_{DN} \times q_{DN} \times X \times (1 - f_{DN}) \quad \text{Ecuación 33}$$

Con los valores anteriores ya calculados, el paso siguiente fue estimar la recirculación requerida (R), de efluente nitrificado desde el primer tanque aerobio hacia el primer tanque de anóxico de desnitrificación.

$$R = \frac{1}{(1-f)} - 1 \quad \text{Ecuación 34}$$

Luego, al porcentaje de caudal a recircular obtenido se le restará el porcentaje de caudal que también será recirculado pero desde el sedimentador secundario hacia el primer reactor anóxico.

Por último, con todos los datos obtenidos, se dimensionaron ambos reactores anóxicos. Estos tendrán forma circular y sus especificaciones pueden observarse en la Tabla IV.VI.I.

Tabla IV.VI.I. Especificaciones para la construcción y operación de los reactores anóxicos.

| Parámetro | Simbología | Reactor anóxico N° 1 | Reactor anóxico N° 2 |
|--|------------|----------------------|----------------------|
| Tiempo de retención hidráulico (h) | t_{DN} | 1,16 | 1,00 |
| Volumen del reactor (m^3) | V_{DN} | 27,17 | 22,70 |
| Altura del reactor (m) | H_{DN} | 3,60 | 2,50 |
| Radio del reactor (m) | r_{DN} | 1,55 | 1,70 |
| Porcentaje de efluente recirculado | X_R | 61,00% | - |

IV.VII. Sistema de lodos activos

Dado que para el correcto funcionamiento del sistema Bardenpho se necesitan dos reactores aeróbicos, se diseñaron dos sistemas de lodos activos. Para el diseño de ambos reactores, previamente se deben tener en cuenta diversas consideraciones:

- Se considerará mezcla completa en el reactor, es decir que, dado que la dispersión de partículas a lo largo de la unidad es homogénea, la concentración en todos los puntos será la misma.
- El sistema se encuentra en estado estacionario.
- La concentración de microorganismos en el efluente antes del ingreso al reactor es nula.
- Un porcentaje de los lodos presentes en el sedimentador secundario serán recirculados al segundo reactor aeróbico.

Una vez tomadas en cuenta estas consideraciones, utilizando los valores de caudal diario y DBO_5 , y asumiendo valores para diversos parámetros de acuerdo a la bibliografía (reflejados en la Tabla IV.VII.I), se obtuvo el volumen de cada reactor de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_R = \frac{\theta_c \times Q \times Y \times (S_o - S)}{X_R \times (1 + (kd \times \theta_c))} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

V_R : es el volumen obtenido que deberá tener el reactor en m^3 .

θ_c : tiempo de retención celular, el cual indica el tiempo de permanencia de una célula dentro del sistema, expresado en días.

Q: caudal diario de efluente que ingresa al reactor en $\frac{m^3}{d}$.

Y: representa la masa celular formada por la masa de sustrato consumida, expresada en $\frac{kg \text{ X formado}}{kg \text{ DBO}_5 \text{ consumido}}$.

S_o : es la concentración de sustrato presente en el efluente que ingresa al reactor en $\frac{mg \text{ DBO}_5}{L}$.

S: es la concentración de sustrato presente en el efluente a la salida de la unidad de lodos activos en $\frac{mg\ DBO_5}{L}$.

X_R : hace referencia a la concentración de microorganismos presentes en el reactor en $\frac{mg}{L}$.

kd: es la constante de degradación la cual está expresada en d^{-1} , obtenida de bibliografía para este tipo de efluente.

Tabla IV.VII.I. Valores asumidos para calcular el volumen de los reactores de lodos activos.

| Parámetro | Simbología | Reactor Lodos Activos N° 1 | Reactor Lodos Activos N° 2 |
|---|------------|----------------------------|----------------------------|
| Tiempo de retención celular (d) | Θ_c | 10 | 9 |
| Relación masa formada por masa consumida ($\frac{kg\ X\ formado}{kg\ DBO_5\ consumido}$) | Y | 0,50 | 0,50 |
| Concentración de sustrato en el efluente a la salida de la unidad ($\frac{mg\ DBO_5}{L}$) | S | 389,50 | 25,00 |
| Concentración de microorganismos en el reactor ($\frac{mg}{L}$) | X_R | 4000,00 | 5000,00 |
| Concentración de microorganismos en el caudal de recirculación ($\frac{mg}{L}$) | X_R | - | 17500,00 |
| Concentración de microorganismos en el caudal de purga ($\frac{mg}{L}$) | X_R | - | 17500,00 |
| Constante de degradación (d^{-1}) | kd | 0,05 | 0,05 |

Luego de haber calculado el volumen de los reactores (V_{LA}), se adoptó una profundidad (H_{LA}) para luego calcular el área ocupada por cada uno (A_{LA}) y así determinar sus medidas. Dado que se consideró que ambos reactores serán de forma circular, a partir de las áreas se obtuvo el radio de las unidades. Las medidas de los reactores se encuentran detalladas en la Tabla IV.VII.II.

Tabla IV.VII.II. Dimensiones de los reactores de lodos activos.

| Parámetro | Simbología | Reactor Lodos Activos N° 1 | Reactor Lodos Activos N° 2 |
|---|------------|----------------------------|----------------------------|
| Volumen del reactor (m) | V_{LA} | 136,10 | 150,80 |
| Altura del reactor (m) | H_{LA} | 3,00 | 3,00 |
| Radio del reactor (m) | r_{LA} | 3,80 | 4,00 |
| Área ocupado por el reactor (m ²) | A_{LA} | 45,40 | 50,30 |

Una vez obtenidas las medidas para los reactores de lodos activos, se verificó que el valor de $\frac{F}{M}$ se encuentre dentro del rango sugerido por bibliografía para esta tecnología ($0,2 < \frac{F}{M} < 0,6$). Esta variable se utiliza como parámetro de control en la operación del sistema biológico, e indica la relación entre el sustrato disponible y la cantidad de microorganismos. Para calcular este valor se utilizó la ecuación presentada a continuación:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times S_0}{V_R \times X_R} \quad \text{Ecuación 36}$$

Luego se procedió a calcular los caudales correspondientes a la purga (Q_p), reciclo (Q_r) y salida (Q_s) del tratamiento biológico. Estos hacen referencia, respectivamente, a: el caudal que es purgado junto con el exceso de lodos, el caudal de efluente tratado que es devuelto al reactor para mantener la concentración de microorganismos y al caudal que sale del sistema y continúa hacia el tratamiento terciario y su posterior vuelco.

Para el cálculo del caudal de reciclo se tomó en cuenta que el sistema está en estado estacionario y que el aporte de microorganismos del efluente en la entrada al sistema es nula. A partir de estas consideraciones, se obtuvo Q_r mediante la siguiente ecuación:

$$Q_r = \frac{Q \times X_R - Q_p \times X_p}{(X_p - X)} \quad \text{Ecuación 37}$$

A partir de la ecuación previa, se obtuvo el caudal de efluente que será recirculado desde el sedimentador secundario hacia el ingreso al tratamiento biológico, con la finalidad de mantener constante la concentración de microorganismos en este último. Este caudal resultó ser de un 38,90% del caudal de entrada al sistema. Para cumplir con esta recirculación, se necesita la implementación de una bomba centrífuga, las cuales serán detalladas en los capítulos posteriores.

Para calcular los caudales restantes, se tuvo en cuenta que el caudal dentro del reactor de lodos activos es la suma del caudal de entrada y el caudal de recirculación. Además, el caudal de entrada debe ser igual a la suma de los caudales de salida y de purga. Finalmente, adoptando una concentración de microorganismos de recirculación (X_r) y de purga (X_p), se obtiene el caudal de purga de acuerdo a:

$$Q_p = \frac{Y \times (S_0 - S) \times Q - V \times kd \times X}{X_p} \quad \text{Ecuación 38}$$

Luego, con el caudal de purga calculado, se obtuvo el caudal de salida utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q - Q_p \quad \text{Ecuación 39}$$

Los caudales obtenidos se encuentran detallados en la Tabla IV.VII.III.

Tabla IV.VII.III. Caudales de salida, purga y reciclo.

| Parámetro | Simbología | Caudales |
|---|------------|----------|
| Caudal de salida ($\frac{m^3}{d}$) | Q_s | 539,50 |
| Caudal de purga ($\frac{m^3}{d}$) | Q_p | 4,34 |
| Caudal de reciclo ($\frac{m^3}{d}$) | Q_r | 176,07 |
| Caudal de reciclo Bardenpho ($\frac{m^3}{h}$) | Q_{rB} | 13,85 |

IV.VII.I Generación de lodos

La producción diaria de lodos (P_L) se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$P_L = Q_P \times X_P \quad \text{Ecuación 40}$$

Luego se verificó que la carga orgánica volumétrica (COV) se encuentre dentro del rango establecido por bibliografía ($0,3 \frac{kg\ DBO_5}{m^3 \times d} < COV < 3 \frac{kg\ DBO_5}{m^3 \times d}$), mediante la siguiente ecuación:

$$COV = \frac{(Q_r \times S) + (Q \times S_o)}{V} \quad \text{Ecuación 41}$$

Los valores obtenidos para ambos parámetros pueden observarse en la Tabla IV.VII.I.I.

Tabla IV.VII.I.I. Dimensiones del reactor de lodos activos.

| Parámetro | Simbología | Reactor Lodos Activos N° 1 | Reactor Lodos Activos N° 2 |
|---|------------|----------------------------|----------------------------|
| Producción de lodos ($\frac{kg\ Lodos}{d}$) | P_L | 68,47 | 75,87 |
| Carga orgánica volumétrica ($\frac{kg\ DBO_5}{m^3 \times d}$) | COV | 3,20 | 2,89 |

IV.VII.II Requerimiento de oxígeno

Para el correcto funcionamiento del sistema de lodos activos es necesaria la incorporación de un sistema de aireación que provea el caudal de oxígeno (RO) requerido por el sistema. Para calcular este caudal se utilizó la ecuación presentada a continuación:

$$RO = \frac{Q \times (S_o - S)}{F} - 1,42 \times P_L \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

RO: es el requerimiento de oxígeno del sistema en $\frac{kg\ O_2}{d}$.

Q: es el caudal de efluente que ingresa al sistema, expresado en $\frac{m^3}{d}$.

S_0 : concentración de DBO₅ con la que el efluente ingresa al reactor, en $\frac{mg}{L}$.

S: concentración de DBO₅ con la que el efluente sale del reactor, en $\frac{mg}{L}$.

F: factor adimensional de conversión, el valor adoptado fue de 0,65.

P_L : producción de lodos en el sedimentador secundario, cuyo valor está expresado $\frac{kg}{d}$.

Dado que el oxígeno no será suministrado de forma pura al efluente, sino que se suministrará aire, una vez obtenido el caudal diario de oxígeno requerido se obtuvo el requerimiento estándar de oxígeno (SOR), el cual permite conocer el caudal de aire que deberá ser suministrado al sistema, calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$SOR = \frac{RO}{(\beta \times (\frac{C_{Wat} - C_L}{C_s})) \times 1,024^{(T-20)} \times \alpha} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

SOR: es el requerimiento de oxígeno estándar en $\frac{kg O_2}{d}$.

RO: es el requerimiento de oxígeno del sistema en $\frac{kg O_2}{d}$.

β : es el factor de conversión adimensional por salinidad y tensión superficial, cuyo valor adoptado fue 1.

C_{Wat} : es la concentración de saturación de oxígeno disuelto para agua residual, cuyo valor es $8,26 \frac{mg}{L}$.

C_L : concentración de oxígeno disuelto en condiciones de operación, y su valor es de $2 \frac{mg}{L}$.

C_s : concentración de oxígeno saturado a 20°C y presión de 1atm, su valor es de $9,17 \frac{mg}{L}$.

T: temperatura ambiente. Se consideró una temperatura promedio anual de la zona de 25°C.

α : factor adimensional de conversión de transferencia de oxígeno para agua residual, el valor adoptado para este parámetro fue 0,80.

Una vez obtenido el *SOR*, su valor fue convertido a unidades de $\frac{Nm^3}{h}$

considerando que el aire tiene $280 \frac{gr O_2}{Nm^3}$. El paso siguiente fue calcular

la cantidad de difusores necesaria para satisfacer el caudal de oxígeno requerido. Se utilizaran difusores de burbuja fina marca Repicky modelo RG-300 (ficha técnica en el Anexo IV, donde se detalla la eficiencia y el caudal unitario), dispuestos en una grilla fija. Para obtener el número total de estos, se estimó una densidad de $1 \frac{difusor}{m^2}$,

y un caudal de diseño por difusor. Partiendo de estas adopciones y utilizando el gráfico provisto en la ficha técnica, se obtuvo el valor de SOTE. Luego multiplicando este valor por la profundidad del reactor se obtuvo el valor real del SOTE.

Por último, se multiplicó el SOTE real por los valores adoptados para el número de difusores y el caudal por difusor. De esta forma se obtuvo el caudal total de oxígeno que será suministrado al sistema, el cual se verificó que sea superior al requerimiento de oxígeno, asegurando así un correcto funcionamiento del sistema.

Todos los valores calculados en este apartado pueden observarse en la Tabla IV.VII.II.I.

Tabla IV.VII.II.I. Valores obtenidos del requerimiento de oxígeno del reactor.

| Parámetro | Simbología | Reactor Lodos Activos N° 1 | Reactor Lodos Activos N° 2 |
|---|------------|----------------------------|----------------------------|
| Requerimiento de oxígeno ($\frac{kg O_2}{d}$) | RO | 120,03 | 197,24 |
| Requerimiento de oxígeno estándar ($\frac{Nm^3}{h}$) | SOR | 29,05 | 47,73 |
| Densidad de difusores ($\frac{difusor}{m^2}$) | - | 1,00 | 1,00 |
| Número de difusores | - | 45 | 50 |
| Caudal de O_2 suministrado por los difusores ($\frac{Nm^3}{h}$) | - | 36,75 | 53,38 |

IV.VII.III Sistema de aireación

Por último, para el correcto funcionamiento de los difusores, se debe añadir un sistema de aireación que sea capaz de proveer el caudal de oxígeno requerido. Para asegurarse de elegir el equipo adecuado, se debe calcular la presión de trabajo dada por la pérdida de carga del difusor sumada a la presión ejercida por la columna de agua sobre el difusor, según:

$$P_w = \text{Pérdida de carga} + (\rho \times g \times h) \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

P_w : es la presión de trabajo en *mbar*.

ρ : es la densidad del efluente, considerada igual a la del agua ($1000 \frac{kg}{m^3}$)

g : es el valor de la gravedad $9,8 \frac{m}{s^2}$.

h : es la altura de la columna de agua, equivalente a la profundidad del reactor.

Una vez obtenido este valor, se buscó dentro del catálogo del proveedor un soplador que trabaje dentro del rango de presión y sea

capaz de proveer el caudal requerido. Se optó por la instalación de dos sopladores marca Repicky modelo R100 (ficha técnica en el Anexo III) que trabajarán en paralelo y cuyas especificaciones pueden observarse en la Tabla IV.VII.III.I. Se instalarán dos sopladores de forma tal que cada uno de ellos trabaje a una baja frecuencia, y en caso de que alguno de los dos sufra desperfectos, el soplador remanente pueda suplir la demanda requerida.

Tabla IV.VII.III.I. Especificaciones técnicas del sistema de aireación seleccionado.

| Parámetro | Simbología | Reactor Lodos Activos N° 1 | Reactor Lodos Activos N° 2 |
|---|------------|----------------------------|----------------------------|
| Marca | - | Repicky | Repicky |
| Modelo | - | R100 | R100 |
| Presión de trabajo (<i>mbar</i>) | P_w | 344,00 | 344,00 |
| Cantidad de sopladores | - | 1 | 1 |
| Caudal de O_2 suministrado por el soplador ($\frac{m^3 \text{ std}}{h}$) | Q_{O_2} | 57,90 | 57,90 |
| Potencia del soplador (<i>HP</i>) | P_s | 1,60 | 1,60 |
| Frecuencia de trabajo del soplador (<i>RPM</i>) | F_s | 2900,00 | 2900,00 |

Alternativa N° 2: Lecho percolador con sistema carrusel

La segunda alternativa de tratamiento biológico propuesta consiste en un lecho percolador, filtro biológico (soporte con microorganismos adheridos en forma de biofilm que degradan la materia orgánica del efluente) que funciona en condiciones principalmente aeróbicas. El efluente se vierte al filtro a partir de brazos distribuidores rotatorios, atraviesa su relleno por gravedad y finaliza su recorrido en canales colectores inferiores. Este sistema irá seguido de un sistema carrusel, cuya función principal es remover el nitrógeno de forma biológica.

Para el diseño del lecho percolador se comparan dos tipos de soportes plásticos diferentes: relleno de diseño y relleno a granel.

IV.VIII. Lecho percolador con relleno de diseño

Para comenzar con el diseño se definieron las variables detalladas en la Tabla IV.VIII.I. basándose en la bibliografía.

Tabla IV.VIII.I. Especificaciones técnicas del sistema de aireación seleccionado.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|---|------------|-------|
| Altura del filtro (m) | Z | 11,00 |
| Relación entre caudal de reciclo y caudal total | α | 1,00 |
| Número de brazos distribuidores | a | 2 |

Al comenzar con el dimensionamiento del filtro, en primer lugar se calculó el volumen del mismo de acuerdo al modelo de Eckenfelder simplificado para filtros percoladores, siguiendo la siguiente ecuación:

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp\left(-k \cdot S_a \cdot \frac{V}{Q}\right) \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

S_e : DBO₅ soluble a la salida del filtro en $\frac{mgDBO}{L}$.

S_i : DBO₅ soluble del agua residual aplicada al filtro $\frac{mgDBO}{L}$.

S_a : superficie específica del relleno en $\frac{m^2}{m^3}$.

k : constante de velocidad de reacción observada en $\frac{m}{d}$.

Q: caudal de ingreso al sistema en $\frac{m^3}{d}$.

Una vez obtenido el volumen, y con la altura ya definida anteriormente, se obtuvo el área del filtro y con esta el radio del mismo. A la altura de filtro definida se añadió 0,40 m por encima (para ubicar el sistema distribuidor de influente) y 0,60 por debajo del mismo (para instalar el sistema de recolección de efluente y las ventanas de aireación natural).

Para que el proceso de degradación de la materia orgánica se lleve a cabo por microorganismos principalmente aerobios, es necesario que los mismos cuenten con un flujo de oxígeno disuelto apropiado. Para esto se diseñaron ventanas en el fondo del reactor, con el objetivo de favorecer la ventilación natural y así contar con oxígeno en el lecho.

Se consideró entonces que el área para la ventilación debe ser el 15% del área superficial del lecho, distribuida en cuatro ventanas de forma cuadrada.

Por último, la cantidad de brazos distribuidores (a) se escogió por criterio profesional, y a partir de ella y el número de Spulkraft recomendado por la bibliografía se calculó la velocidad de rotación de los mismos ($n_{\text{operación}}$), a fin de poder distribuir correctamente el influente en todo el lecho. A su vez se calculó la velocidad de rotación para el momento de la limpieza (n_{limpieza}).

El relleno de soporte utilizado para el lecho será un lecho de diseño sintético ordenado, como el que se muestra en la Figura IV.VIII.I.

Las medidas y características operativas del lecho percolador diseñado se pueden observar en la Tabla IV.VIII.II.

Tabla IV.VII.II. Dimensiones y características del lecho diseñado.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|-----------------|--------|
| Altura total del tanque (m) | h_{LP} | 12,00 |
| Volumen del lecho percolador (m^3) | V_{LP} | 150,87 |
| Área del lecho percolador (m^2) | A_{LP} | 12,58 |
| Radio del lecho percolador (m) | r_{LP} | 2,00 |
| Área de cada ventana (m^2) | A_{Ve} | 0,39 |
| Lado de cada ventana (m) | L_{Ve} | 0,62 |
| Número de ventanas | N_{Ve} | 4 |
| Velocidad de rotación de los brazos distribuidores (rpm) | $n_{Operación}$ | 0,43 |
| Velocidad de rotación para la limpieza (rpm) | $n_{Limpieza}$ | 0,09 |
| Carga hidráulica ($\frac{m^3}{m^2 d}$) | Ch_{LP} | 43,23 |
| Carga orgánica ($\frac{kg}{m^3 d}$) | Co_{LP} | 2,34 |

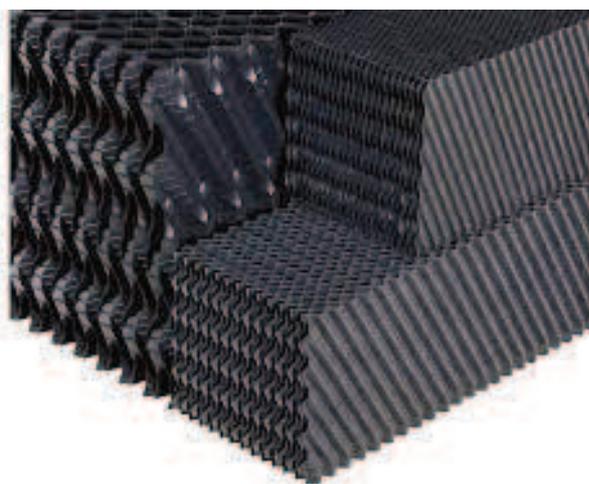


Figura IV.VIII.I. Relleno de diseño ordenado a utilizar para el lecho percolador. Fuente: Iberospec.

Se verificó que se diseñó un filtro de muy alta carga ya que sus parámetros se encuentran dentro de los rangos recomendados en bibliografía, los cuales están detallados en la Tabla IV.VIII.III.

Tabla IV.VII.III. Rangos recomendados en bibliografía para filtros percoladores de muy alta carga.

| Parámetro | Rango |
|--|----------------|
| Profundidad del filtro (<i>m</i>) | 4,50 - 12,00 |
| Relación de recirculación | 1,00 - 4,00 |
| Carga hidráulica ($\frac{m^3}{m^2 d}$) | 40,00 - 200,00 |
| Carga orgánica ($\frac{kg}{m^3 d}$) | 0,80 - 6,00 |
| Medio filtrante | Sintéticos |

IV.IX. Lecho percolador con relleno a granel

Para el diseño del lecho con relleno a granel se realizó el mismo análisis que con relleno de diseño, sin embargo al disminuir la superficie específica del relleno a granel en comparación al relleno de diseño, aumentó la cantidad de soporte precisado, y por ende aumentó el volumen del tanque y por consiguiente el costo del lecho en general, con lo cual no se considera como alternativa este tipo de tratamiento con dicho relleno.



Figura IV.IX.I Relleno a granel aleatorio a utilizar para el lecho percolador. Fuente: Sumyt.

IV.X. Sistema carrusel

Siguiendo el tren de tratamiento, y posterior al lecho percolador, se ubica el sistema carrusel o zanja de oxidación. La función principal de este tratamiento es la remoción del nitrógeno.

Para comenzar con el diseño del sistema, como primer paso se calculó el volumen necesario para la zanja, a través de la ecuación presentada a continuación:

$$V = \frac{Q}{x} \times \frac{\Theta_c \times y \times (S_0 - S)}{1 + (k_d \times \Theta_c)} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

V: volumen requerido para la zanja en m^3 .

Q: caudal de ingreso al sistema en $\frac{m^3}{d}$.

x: concentración de microorganismos en el sistema en $\frac{mg}{L}$.

S_0 : DBO₅ que ingresa al sistema en $\frac{mgDBO}{L}$.

S: DBO₅ a la salida del sistema en $\frac{mgDBO}{L}$.

y: coeficiente de crecimiento, tomado como 0,55 de acuerdo a la bibliografía.

k_d : coeficiente de decaimiento de microorganismos, tomado como 0,03 según bibliografía.

Θ_c : tiempo de residencia celular en días.

Una vez obtenido el volumen de la zanja, y habiendo adoptado una profundidad (h_{SC}) para esta, se determinó el área requerida (A_{SC}). Dado que se construirán dos zanjas de oxidación, el área obtenida se dividió en dos para así calcular las medidas de ambas zanjas para que resulten equivalentes. Luego se adoptó el ancho de cada zanja y ya con dicho valor se calculó el largo necesario para cada una.

$$A_{SC} = \frac{V}{h_{SC}} \quad \text{Ecuación 47}$$

Luego se calculó el excedente de sólidos (L_{Pu}) en el sistema, que deberá ser purgado, según la siguiente ecuación:

$$L_{Pu} = \frac{x \times V}{\theta} \quad \text{Ecuación 48}$$

Por último se calculó el tiempo de retención hidráulico (TRH) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 49}$$

Las medidas obtenidas y datos operativos se encuentran detallados en la Tabla IV.X.I.

Tabla IV.X.I. Dimensiones y datos operativos de la zanja de oxidación.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|------------|-------|
| Altura total de la zanja (m) | h_{SC} | 1,20 |
| Volumen total del sistema (m^3) | V_{SC} | 71,76 |
| Área de cada zanja del sistema (m^2) | A_{SC} | 29,90 |
| Ancho de cada zanja (m) | W_{SC} | 2,60 |
| Largo de cada zanja (m) | L_{SC} | 11,50 |
| Sólidos en exceso ($\frac{kg}{d}$) | L_{Pu} | 7,44 |
| Tiempo de retención hidráulico (h) | TRH | 3,15 |

IV.X.I Requerimiento de oxígeno

El paso siguiente para continuar con el diseño de la zanja fue determinar el requerimiento de oxígeno del sistema (RO_{SC}) con la ecuación presentada a continuación:

$$RO_{SC} = 1,2 \times (S_0 - S) \quad \text{Ecuación 50}$$

Luego se calculó la cantidad de difusores necesarios para cumplir con este requisito, utilizando la misma metodología que para el sistema de lodos activos, descripta anteriormente en el apartado IV.VII.II.

Los valores obtenidos para el presente apartado se encuentran reflejados en la Tabla IV.X.I.I.

Tabla IV.X.I.I. Datos operativos de la zanja de oxidación para el requerimiento de oxígeno.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|-------------------|-------|
| Requerimiento de oxígeno ($\frac{kg}{h}$) | RO | 2,14 |
| Requerimiento de oxígeno estándar ($\frac{Nm^3}{h}$) | SOR | 12,43 |
| Número de difusores | N° _{Dif} | 30 |
| Densidad de difusores ($\frac{N^{\circ} Dif}{m^2}$) | W _{SC} | 1,00 |

IV.X.II Sistema de aireación

Al igual que para el sistema de lodos activos, para el correcto funcionamiento de los difusores, se debe añadir un sistema de aireación que sea capaz de proveer el caudal de oxígeno requerido. Para asegurarse de elegir el equipo adecuado, se debe calcular la presión de trabajo dada por la pérdida de carga del difusor sumada a la presión ejercida por la columna de agua sobre el difusor, según:

$$P_w = \text{Pérdida de carga} + (\rho \times g \times h) \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

P_w : es la presión de trabajo en *mbar*.

ρ : es la densidad del efluente, considerada igual a la del agua ($1000 \frac{kg}{m^3}$)

g : es el valor de la gravedad $9,8 \frac{m}{s^2}$.

h : es la altura de la columna de agua, equivalente a la profundidad del reactor.

Una vez obtenido este valor, se buscó dentro del catálogo del proveedor un soplador que trabaje dentro del rango de presión y sea capaz de proveer el caudal requerido. Se optó por la instalación de dos sopladores marca Repicky modelo R100 (ficha técnica en el Anexo III)

que trabajarán en paralelo y cuyas especificaciones pueden observarse en la Tabla IV.X.II.I. Se instalarán dos sopladores de forma que en caso de que alguno de los dos sufra desperfectos, el soplador remanente pueda suplir la demanda requerida.

Tabla IV.X.II.I. Especificaciones técnicas del sistema de aireación seleccionado.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|---|------------|---------|
| Marca | - | Repicky |
| Modelo | - | R100 |
| Presión de trabajo (<i>mbar</i>) | P_w | 167,60 |
| Cantidad de sopladores | - | 2 |
| Caudal de O_2 suministrado por el soplador ($\frac{m^3 \text{ std}}{h}$) | Q_{O_2} | 23,10 |
| Potencia del soplador (<i>HP</i>) | P_s | 0,50 |
| Frecuencia de trabajo del soplador (<i>RPM</i>) | F_s | 1450,00 |

Memoria de cálculo de las unidades del tratamiento secundario y terciario

IV.XI. Sedimentador secundario

Para el diseño del sedimentador secundario se estimó un tiempo de permanencia ($t_{p,II}$) que se encuentre dentro del rango sugerido por bibliografía, es decir, entre 2 y 4 horas. Se consideró entonces un tiempo de permanencia de 3 horas. Luego, se calculó el área de sedimentación ($A_{Sed.II}$) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_{Sed.II} = \frac{Q_{Sed}}{C_{sól}} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

$A_{Sed.II}$: es el área requerida para la sedimentación de las partículas.

Q_{Sed} : es el caudal que ingresa en el sistema, el cual es de $543,84 \frac{m^3}{d}$, proveniente del tratamiento secundario y compuesto por efluente y parte de los microorganismos del tratamiento biológico.

$C_{sól}$: es la carga de sólidos que ingresará en el sedimentador, cuyo valor adoptado fue $4 \frac{kg}{m^2 h}$.

Luego multiplicando el valor del tiempo de permanencia por el valor del caudal de ingreso al sistema, se obtiene el volumen ($V_{S,II}$) necesario para contener el efluente que ingresa al sedimentador. El paso siguiente fue dividir el volumen obtenido por el área definida, y de esta forma se calculó la altura ($H_{Sed.II}$) que deberá tener el sedimentador.

Se definió un sedimentador de forma cilíndrica, con una pendiente (θ) en la tolva de la parte inferior, de forma tal de asegurar una sedimentación uniforme de los barros. Luego se calculó el volumen del cono inferior, con el fin de obtener el volumen total del sedimentador. Además, a la altura de la unidad se le sumó la altura del cono inferior, obteniendo así la altura definitiva. Por último, se decidió incorporar un barredor para facilitar la purga de los lodos en la parte inferior del sedimentador. En la Tabla IV.XI.I se

pueden observar, a modo de resumen, las medidas finales del sedimentador primario.

Tabla IV.XI.I. Especificaciones del sedimentador secundario a construir.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|------------------------------------|--------------|-------|
| Área del sedimentador (m^2) | $A_{Sed.II}$ | 18,10 |
| Altura del sedimentador (m) | $H_{Sed.II}$ | 4,35 |
| Diámetro del sedimentador (m) | $D_{Sed.II}$ | 4,80 |
| Volumen del sedimentador (m^3) | $V_{Sed.II}$ | 82,13 |
| Perímetro del sedimentador (m) | $P_{Sed.II}$ | 15,08 |

Por último, se verificó que se cumpla con los valores de carga hidráulica sobre el vertedero (Ch) establecidos por ENOHSA, donde la comparación entre lo regulado y lo obtenido se encuentra expresado en la Tabla IV.XI.II. Para la verificación se utilizó la siguiente ecuación:

$$Ch = \frac{Q_{Sed}}{P_{Sed.II}} \quad \text{Ecuación 53}$$

Tabla IV.XI.II. Valores de carga hidráulica regulados y obtenidos.

| Parámetro | ENOHSA | Planta diseñada |
|--|--------|-----------------|
| Carga hidráulica sobre el vertedero ($\frac{m^3}{d \times m}$) | <290 | 36,06 |

En los apartados siguientes se desarrolla el dimensionamiento de las zonas de entrada y salida del sedimentador.

IV.XI.I Zona de entrada

El efluente ingresa al sedimentador proveniente del tratamiento biológico a través de un cilindro concéntrico ubicado en el centro del sedimentador. Este tubo tendrá un diámetro que será equivalente al 15% del diámetro sedimentador y su altura será de 1,5 metros. El ingreso del efluente al sedimentador será mediante orificios en el tubo concéntrico, a través de los cuales el líquido debe salir a una velocidad de entre 0,30 m/s. Estos orificios estarán en los primeros 0,50 metros del tubo, para asegurar una disipación de energía previa al ingreso.

Los cálculos para el diseño de la zona de entrada, se realizaron utilizando la misma metodología que la descrita en el apartado IV.VI.I. Los valores obtenidos y adoptados para todos los cálculos se ven reflejados en la Tabla IV.XI.I.I.

Tabla IV.XI.I.I. Especificaciones del área de entrada al sedimentador secundario.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--|------------|-------|
| Área total de orificios (m^2) | $A_{p,II}$ | 0,001 |
| Velocidad de ingreso al sedimentador ($\frac{m}{s}$) | $V_{o,II}$ | 0,30 |
| Diámetro de cada orificio (m) | $D_{o,II}$ | 0,018 |
| Número de orificios | - | 20 |
| Número de filas | - | 4 |
| Número de columnas | - | 5 |

Luego, mediante la ecuación presentada debajo, se verificó que la velocidad de salida del efluente a través de cada orificio no sea mayor al rango recomendado.

$$V_o = \mu \times C \times \sqrt{2 \times g \times h} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

V_o : velocidad de paso del efluente por los orificios ($0,3 \frac{m}{s}$)

μ : coeficiente de descarga, en este caso se tomó 0,6 (pared delgada)

C : coeficiente de gasto (Δh), se consideró 5 cm.

g : valor de la gravedad ($9,8 \frac{m}{s}$)

h : diferencia de altura entre los orificios del tubo.

IV.XI.II Zona de salida

El paso siguiente fue dimensionar la zona de salida del sedimentador. Esta constará de una serie de vertederos, para lo cual se adoptó una

velocidad ($V_{\text{Can.II}}$) de $0,25 \frac{m}{s}$ del efluente en la canaleta de salida. Para calcular el área ($A_{\text{Can.II}}$) necesaria para la canaleta, se utilizó la misma metodología que para la zona de salida del sedimentador primario, descrita en el apartado IV.VI.II. Únicamente se adoptaron valores diferentes para algunos de los parámetros necesarios para el dimensionamiento.

Estas adopciones junto con las especificaciones obtenidas para la construcción de la zona de salida, se encuentran especificadas en la Tabla IV.XI.II.I. A todos los valores obtenidos se les agregó un margen de seguridad del 20%.

Tabla IV.XI.II.I. Especificaciones del área de salida del sedimentador secundario.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|---|---------------------|--------------|
| Caudal de la canaleta ($\frac{m^3}{s \times m \text{ lineal}}$) | $Q_{\text{Can.II}}$ | 0,0033 |
| Altura de la canaleta (m) | $H_{\text{Can.II}}$ | 0,50 |
| Ancho de la canaleta (m) | $W_{\text{Can.II}}$ | 0,05 |
| Altura del vertedero (cm) | $H_{\text{Ver.II}}$ | 4,00 |
| Ancho del vertedero (cm) | $W_{\text{Ver.II}}$ | 8,00 |
| Espacio entre vertederos (cm) | E_{Ver} | 38,47 |
| Caudal unitario del vertedero ($\frac{m^3}{s}$) | $Q_{\text{Ver.II}}$ | 0,0044 |
| Número de vertederos | - | 34 |

IV.XI.III Barredor

Acorde a las dimensiones del sedimentador secundario, se propone instalar un puente barredor de acero inoxidable con un sistema de recolección, que permita una mejor evacuación de los lodos sedimentados. En la Tabla IV.XI.III.I. se encuentran detalladas las especificaciones técnicas del barredor, brindadas por el proveedor (ficha técnica en el Anexo IV).

Tabla IV.XI.III.I. Especificaciones técnicas del barredor seleccionado.

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------------|--------|
| Marca | Jorsun |
| Modelo | ZXN6 |
| Diámetro (m) | 6,00 |
| Velocidad de giro ($\frac{m}{min}$) | 2,20 |
| Diámetro del tubo guía (m) | 0,80 |
| Potencia (kW) | 0,25 |

IV.XI.IV Zona de recolección de lodos

Al igual que en el sedimentador primario, el área de recolección de lodos contará con una pendiente que permita el escurrimiento de los mismos hacia el fondo de la unidad, donde se hará efectiva su recolección a través de una tolva. La parte inferior de ésta contará con una cañería de desagüe para la evacuación de los lodos, donde estos no deberán permanecer por más de 15 días, evitando así su descomposición. La sección mínima para esta cañería se calculó de acuerdo a:

$$A_{Com} = \frac{A_{Sed}}{4850 \times t_{Des}} \times \sqrt{P_U} \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

A_{Com} : sección de la compuerta de desagüe (m²).

A_{Sed} : área que ocupa el sedimentador en planta (m²).

t_{Des} : tiempo de descarga (h). Se consideró un tiempo de 5 horas.

P_U : profundidad útil del sedimentador (m).

En la Tabla IV.XI.IV.I. se pueden observar las medidas de la compuerta de desagüe del sedimentador.

Tabla IV.XI.IV.I. Especificaciones del área de salida del sedimentador.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|-----------------------------------|------------|-------|
| Área de la compuerta (cm^2) | A_{Com} | 37,08 |
| Diámetro de la compuerta (cm) | D_{Com} | 7,00 |

IV.XII. Remoción de fósforo

De acuerdo a lo planteado en el Capítulo III, la remoción de fósforo se realizará mediante la adición de sales metálicas. Estas sales pueden ser añadidas en diferentes puntos del proceso de tratamiento, sin embargo la adición de estas sales en el tratamiento secundario arroja los mejores resultados. En particular, para el caso de la presente planta de tratamiento diseñada, se adicionarán sales de aluminio ($AlPO_4$) en el canal previo al sistema aireado (segundo reactor aireado para la alternativa N°1 y previo al ingreso al filtro percolador en el caso de la alternativa N°2) con el objetivo de cumplir con el gradiente de mezcla dentro del mismo. Esta adición de sales en el tratamiento secundario se considera la más adecuada ya que presenta el menor coste operativo dado que la dosificación de las sales es menor a diferencia que en otros puntos del proceso. En la Tabla IV.XII.I. pueden observarse las relaciones molares entre el aluminio y el fósforo según el porcentaje de remoción buscado.

Tabla IV.XII.I. Dosificación necesaria de alúmina según el nivel de remoción de fósforo buscado.^[13]

| Reducción de fósforo | Intervalo de relación molar Al:P | Relación molar típica Al:P |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 75% | 1,25:1 - 1,5:1 | 1,4:1 |
| 85% | 1,6:1 - 1,9:1 | 1,7:1 |
| 95% | 2,1:1 - 2,6:1 | 2,5:1 |

Asumiendo que $6,24 \frac{mg}{l}$ de fósforo serán removidos por el tratamiento secundario, ya que cada $100 mg$ de DBO_5 se remueve $1 mg$ del nutriente, se busca un porcentaje de eliminación del fósforo remanente del 95%. De acuerdo a lo descrito en la bibliografía, se toma entonces la relación molar típica de Al:P de 2,5:1. Los valores de dosificación de $Al_2(SO_4)_3$ obtenidos para

remover el fósforo remanente en cada una de las campañas de producción llevadas a cabo durante el año, se encuentran detallados en la Tabla IV.XII.II.

Tabla IV.XII.II. Valores de dosificación obtenidos para la remoción de fósforo.

| Campaña de producción | Unidad | Dosificación |
|--|------------------|--------------|
| Dosificación para efluente de mejillón | $\frac{gr}{m^3}$ | 258,49 |
| Dosificación para efluente de mejillón | $\frac{kg}{h}$ | 5,86 |
| Dosificación para efluente de atún | $\frac{gr}{m^3}$ | 179,18 |
| Dosificación para efluente de atún | $\frac{kg}{h}$ | 4,07 |

La dosificación del sulfato de aluminio se hará a través del uso de una bomba marca Dosivac modelo 033 (ficha técnica en el Anexo IX).

IV.XIII. Tratamiento terciario

Para la desinfección llevada a cabo en el tratamiento terciario, se utilizará cloro, en particular la especie hipoclorito de sodio. Esto eliminará cualquier tipo de microorganismo remanente en el efluente, previo a su vuelco.

En la cámara de cloración, debe asegurarse una permanencia mínima del líquido de 20 minutos, y asegurar que la concentración de coliformes sea menor que $200 \frac{mg}{100 ml}$. Para dimensionar entonces la cámara, se partió de la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{N_0} = \left(1 + 0,23 \frac{l}{min \times mg} \times C \times t\right)^{-3} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

N: es la concentración final de coliformes buscada, $200 \frac{UFC}{100 ml}$.

N₀: es la concentración inicial de coliformes, adoptada como $10^7 \frac{UFC}{100 ml}$.

t: es el tiempo de permanencia del efluente en la cámara. Se consideró un tiempo de 20 minutos.

C: es la concentración de cloro, en $\frac{mg}{l}$, necesaria para asegurar una correcta desinfección.

En la Tabla IV.XIII.I. se detallan las concentraciones necesarias de hipoclorito de sodio para asegurar una eficiente desinfección.

Tabla IV.XIII.I. Concentraciones de hipoclorito de sodio obtenidas para la desinfección.

| Especie | Unidad | Concentración |
|----------------------|----------------|----------------------|
| Hipoclorito de sodio | $\frac{kg}{d}$ | 4,24 |
| Hipoclorito de sodio | $\frac{mg}{l}$ | 7,79 |

Por último, para dimensionar la cámara, se consideró el tiempo de permanencia (T_p) del efluente y se lo multiplicó por el caudal (Q), obteniéndose así el volumen necesario.

$$V_{Cám} = T_p \times Q \quad \text{Ecuación 57}$$

Luego, a partir de este dato y asumiendo una altura de la cámara ($H_{Cám}$) de 1,5 metros y un largo ($L_{Cám}$) de 4 metros, se calcularon el resto de las medidas necesarias de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$A_{Cám} = \frac{V_{Cám}}{H_{Cám}} \quad \text{Ecuación 58}$$

$$W_{Cám} = \frac{V_{Cám}}{L_{Cám}} \quad \text{Ecuación 59}$$

Por último, se asumió un número de tabiques estableciendo la distancia entre ellos de forma tal que resulten equidistantes.

Todas las especificaciones de la cámara de desinfección se encuentran detalladas en la Tabla IV.XIII.II.

Tabla IV.XIII.II. Medidas calculadas para la cámara de desinfección.

| Parámetro | Simbología | Valor |
|--------------------------------------|------------|-------|
| Volumen de la cámara (m^3) | $V_{Cám}$ | 11,40 |
| Largo de la cámara (m) | $L_{Cám}$ | 4,00 |
| Ancho de la cámara (m) | $W_{Cám}$ | 1,90 |
| Altura de la cámara (m) | $H_{Cám}$ | 1,50 |
| Área ocupada por la cámara (m^2) | $A_{Cám}$ | 7,60 |
| Número de tabiques | N_{Tab} | 9 |
| Ancho de tabique (m) | W_{Tab} | 0,25 |
| Distancia entre tabiques (m) | D_{Tab} | 0,175 |

La dosificación de hipoclorito de sodio se hará a través de la utilización de una bomba dosificadora marca Dosivac, modelo 015 (ficha técnica en el Anexo IX)

IV.XIV. Sistema de conducción

El sistema de conducción se diseñó de manera tal de asegurar que la pérdida de carga entre las unidades sea mínima, lo cual ayuda a que el proceso sea económicamente más factible, dado que no se incurren en gastos innecesarios en lo que respecta a uso energético.

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

Para el caso de las cañerías, de acuerdo a la bibliografía, el mejor material para conducción de agua residual es el PVC. Estas cañerías son seleccionadas de acuerdo a su diámetro nominal (D_N), que se corresponde con el diámetro externo, y su diámetro interno (D_I). Para el diseño del sistema de cañerías debe tenerse en cuenta la pérdida de carga, ocasionada por la fricción del fluido con el material, y la impulsión otorgada por el sistema de bombeo.

De esta forma, para dimensionar el sistema de cañerías de conducción por gravedad se utilizó la fórmula de Chezy-Manning^[16], la cual relaciona el radio hidráulico con la velocidad, para una pendiente determinada:

$$v = \frac{1}{n} \times R_H^{\frac{2}{3}} \times L^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

v : representa la velocidad del efluente, expresada en $\frac{m}{s}$.

n : es el coeficiente de rugosidad de Manning, que para el PVC es 0,011.

R_H : es el radio hidráulico, expresado en m .

L : representa la pendiente hidráulica, el cual es un parámetro adimensional. La pendiente adoptada fue de 0,3%, de acuerdo a lo recomendado en bibliografía.^[16]

Por su parte, el radio hidráulico puede expresarse de acuerdo a la siguiente relación:

$$R_H = \frac{A}{P_m} \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

A : representa el área mojada, expresada en m^2 .

P_m : es el perímetro mojado, en m .

Por otro lado, el área mojada y el perímetro mojado se calculan por trigonometría según el ángulo proyectado (θ) desde el centro del cilindro hasta el comienzo de la lámina de agua, de acuerdo a:

$$A = \frac{1}{\theta} \times (\theta - \text{sen}(\theta)) \times D^2 \quad \text{Ecuación 62}$$

$$P_m = \frac{1}{2} \times \theta \times D \quad \text{Ecuación 63}$$

A partir de las ecuaciones presentadas anteriormente, y adoptando las velocidades especificadas a continuación, se obtuvieron los diámetros necesarios para cada uno de los tramos de cañerías. Estas especificaciones se encuentran detalladas en la Tabla IV.XIV.I.

Tabla IV.XIV.I. Diámetros obtenidos para el sistema de cañerías.

| Cañerías para línea de pretratamiento (Rejas, tamiz y tanque de ecuilización) | | |
|--|---------------|--------------|
| Parámetro | Unidad | Valor |
| Velocidad media adoptada | $\frac{m}{s}$ | 0,75 |
| Diámetro interno de la cañería | <i>mm</i> | 240,20 |
| Diámetro nominal | <i>mm</i> | 250,00 |
| Cañerías para línea de ingreso a sedimentadores (Primario y secundario) | | |
| Parámetro | Unidad | Valor |
| Velocidad media adoptada | $\frac{m}{s}$ | 0,30 |
| Diámetro interno de la cañería | <i>mm</i> | 384,00 |
| Diámetro nominal | <i>mm</i> | 400,00 |
| Cañerías para línea de tratamiento secundario, terciario y descarga | | |
| Parámetro | Unidad | Valor |
| Velocidad media adoptada | $\frac{m}{s}$ | 0,75 |
| Diámetro interno de la cañería | <i>mm</i> | 216,00 |
| Diámetro nominal | <i>mm</i> | 225,00 |

IV.XV. Pérdida de carga

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

La forma más cotidiana para expresar la pérdida de carga es mediante las distintas alturas, las cuales son equivalentes a la pérdida por fricción (h_f). Estas pérdidas se calculan considerando las contribuciones de cada uno de los tramos de tubería y de cada uno de los accesorios del sistema.

Para calcular los aportes de los tramos de tubería, considerando flujo turbulento, se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach, presentada a continuación:

$$h_{f-Tub} = \frac{8 \times f \times L \times Q^2}{g \times \pi^2 \times D^5} \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

h_{f-Tub} : representa la fricción resultante del tramo de tubería evaluado, expresada en m .

f : factor de fricción de Darcy. Viene dado en función del gráfico de Moody (Anexo VI) y del número de Reynolds.

L : longitud de la tubería, en m .

Q : representa el caudal de diseño, en $\frac{m^3}{s}$.

g : es el valor de la gravedad, $9,8 \frac{m}{s^2}$.

D : diámetro de la tubería, en m .

En cuanto a los accesorios, para calcular la fricción generada por cada uno de ellos se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_{f-Acc} = \frac{k_{acc} \times v^2}{2 \times g} \quad \text{Ecuación 65}$$

Donde:

h_{f-Acc} : representa la fricción resultante del accesorio evaluado, expresada en m .

k_{Acc} : es una constante adimensional propia de cada accesorio y viene dada por bibliografía. Los valores se encuentran en la Tabla IV.XV.I.

v: es la velocidad del efluente, expresada en $\frac{m}{s}$.

Tabla IV.XV.I. Constantes de fricción de los diferentes accesorios.

| Accesorio | Valor de K_{Acc} |
|------------------------------------|---|
| Codo de 90° | 0,90 |
| Válvula de compuerta, 100% abierta | 0,15 |
| Empalme T | 1,80 |
| Compresión brusca | $0,5 \times \left(\frac{1-d^2}{D^2}\right)$ |
| Expansión brusca | $\left(\frac{1-d^2}{D^2}\right)^2$ |

Luego de realizar los cálculos, se obtuvieron todas las pérdidas de carga a lo largo de cada tramo del tratamiento. Las mismas se encuentran detalladas en la Tabla IV.XV.II.

Tabla IV.XV.II. Pérdidas de carga obtenidas para cada sección del tratamiento.

| Tramo de pretratamiento (Rejas, tamiz y sedimentador primario) | | |
|--|----------|-------|
| Parámetro | Unidad | Valor |
| Pérdida de carga por cañerías | <i>m</i> | 0,01 |
| Pérdida de carga por accesorios | <i>m</i> | 0,13 |
| Pérdida de carga total de la sección | <i>m</i> | 0,14 |
| Tramo de tratamiento secundario (Lodos activos y sedimentador secundario) | | |
| Parámetro | Unidad | Valor |
| Pérdida de carga por cañerías | <i>m</i> | <0,01 |
| Pérdida de carga por accesorios | <i>m</i> | 0,21 |
| Pérdida de carga total de la sección | <i>m</i> | 0,21 |

IV.XVI. Sistema de bombeo

Para que el efluente recorra el tren de tratamiento mediante gravedad, primero será necesario elevar la altura del mismo a través de un sistema de bombeo. Para esto serán necesarios tres de estos sistemas, uno que impulsará el efluente desde el tanque de equalización hacia el sedimentador primario, otro que se encargará de la recirculación del efluente desde el segundo reactor hacia el primero y un último sistema que recirculará los lodos desde el sedimentador secundario hacia el primer reactor de lodos activos.

Para la elección de los sistemas adecuados, se deberá tener en cuenta la caída de presión a vencer que viene dada por las diferencias de altura (Δz) y las pérdidas de carga (h_{f-Tub} y h_{f-Acc}), calculadas anteriormente.

Para esto, se calculó entonces la altura disponible en el sistema (H_{Dis}) de acuerdo a:

$$H_{Dis} = \Delta z + h_{f-Tub} + h_{f-Acc} \quad \text{Ecuación 66}$$

Esto permitirá entonces elegir las bombas adecuadas tomando en cuenta el caudal de diseño y la altura a vencer por la bomba.

IV.XVI.I Bombeo desde el tanque de equalización hacia el sedimentador primario

El efluente proveniente del tanque de equalización será impulsado a través de una bomba sumergible marca Grundfos, modelo SLV.65.65.15.E.EX.2.50B cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo VII.I. En la Tabla IV.XVI.I.I se presentan los detalles de la bomba seleccionada para impulsar el efluente desde el tanque de equalización hacia el sedimentador primario, mientras que en la Figura IV.XVI.I.I se pueden observar las curvas de la bomba seleccionada. Dado que el diámetro de salida no coincide con el diámetro de la tubería de entrada al sedimentador primario, se incorpora un sistema de autoacoplamiento para poder utilizar dicha bomba. Se adquiriran dos bombas del mismo modelo para contar con un sistema de backup en caso de desperfecto o mantenimiento de una de las bombas.

Tabla IV.XVI.I.I. Especificaciones de la bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2.50B.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------|-------------------------|
| Marca | Grundfos |
| Modelo | SLV.65.65.15.E.EX.2.50B |
| Velocidad nominal (rpm) | 2720 |
| Consumo energético (kWh/año) | 1380 |
| Eficiencia de trabajo | 63% |

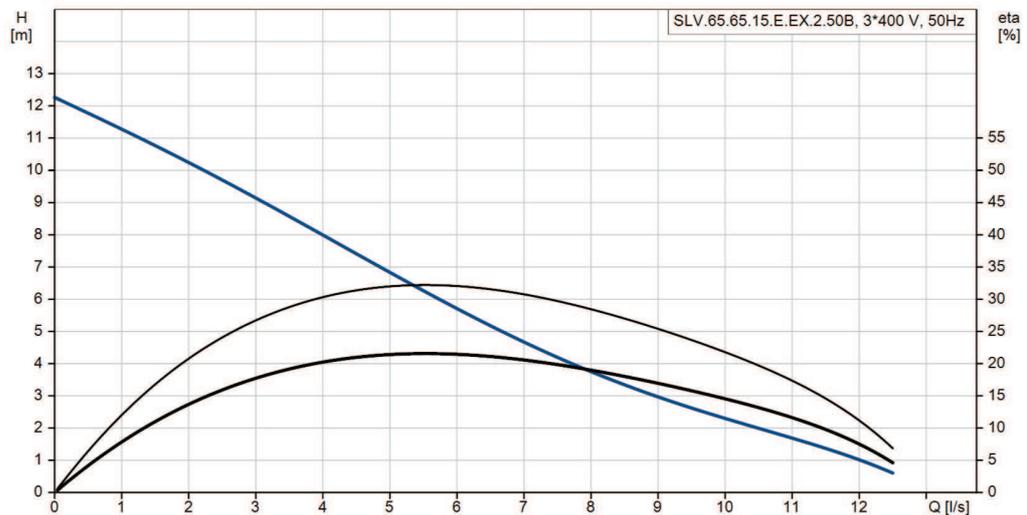


Figura IV.XVI.I.I. Curvas de bombeo para la bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2.50B.

IV.XVI.II Bombeo de recirculación de efluente del reactor aerobio al reactor anóxico

El efluente proveniente del primer reactor aerobio del sistema de lodos activos será impulsado a través de una bomba marca Grundfos, modelo SEG.40.09.EX.2.50B cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo VII.II. En la Tabla IV.XVI.II.I se presentan los detalles de la bomba seleccionada para recircular el efluente desde el reactor aerobio hacia el reactor anóxico, mientras que en la Figura IV.XVI.II.I se pueden observar las curvas de la bomba seleccionada. Se adquiriran dos bombas del mismo modelo para contar con un sistema de backup en caso de desperfecto o mantenimiento de una de las bombas.

Tabla IV.XVI.II.I. Especificaciones de la bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------|--------------------|
| Marca | Grundfos |
| Modelo | SEG.40.09.EX.2.50B |
| Velocidad nominal (rpm) | 2860 |
| Consumo energético (kWh/año) | 1286 |
| Eficiencia de trabajo | 67% |

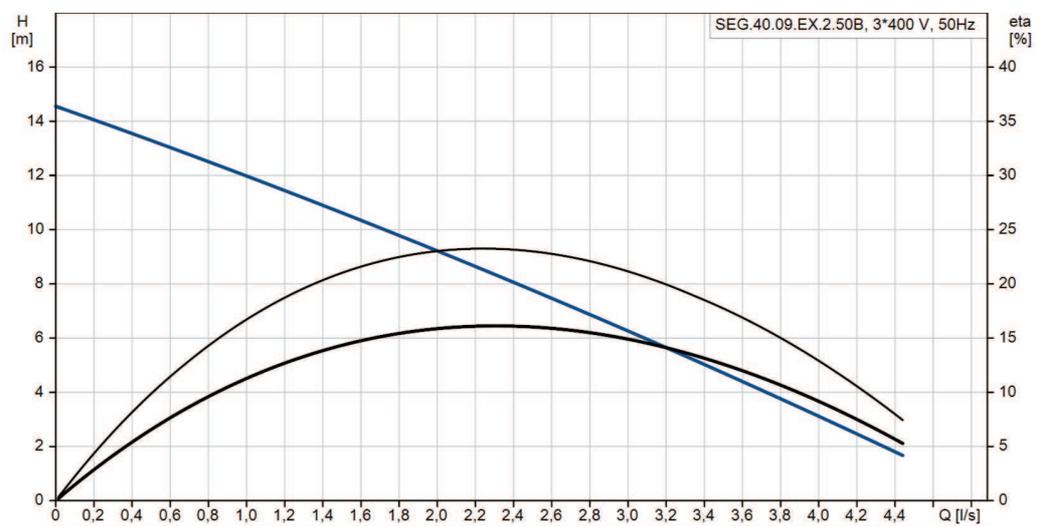


Figura IV.XVI.II.I. Curvas de bombeo para la bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B.

IV.XVI.III Bombeo para recirculación y purga de lodos del sedimentador secundario

Para la purga y recirculación de los lodos provenientes del sedimentador secundario se seleccionó la bomba marca Eddy Pump, modelo HD1K cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo VII.III. En la Tabla IV.XVI.III.I se presentan los detalles de la bomba seleccionada, mientras que en la Figura IV.XVI.III.I se pueden observar las curvas de la bomba seleccionada. Se adquirirán tres unidades de este modelo, de las cuales una será para recircular los lodos desde el sedimentador secundario hacia el primer reactor de lodos activos, otra para realizar la purga de los lodos del sedimentador secundario y una última para

contar con un sistema de backup en caso de desperfecto o mantenimiento de una de las bombas.

Tabla IV.XVI.III.L. Especificaciones de la bomba Eddy Pump HD1K seleccionada para la recirculación y purga de lodos.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------|-----------|
| Marca | Eddy Pump |
| Modelo | HD1K |
| Velocidad nominal (rpm) | 1800 |
| Consumo energético (kWh/año) | 15 |
| Eficiencia de trabajo | 61% |

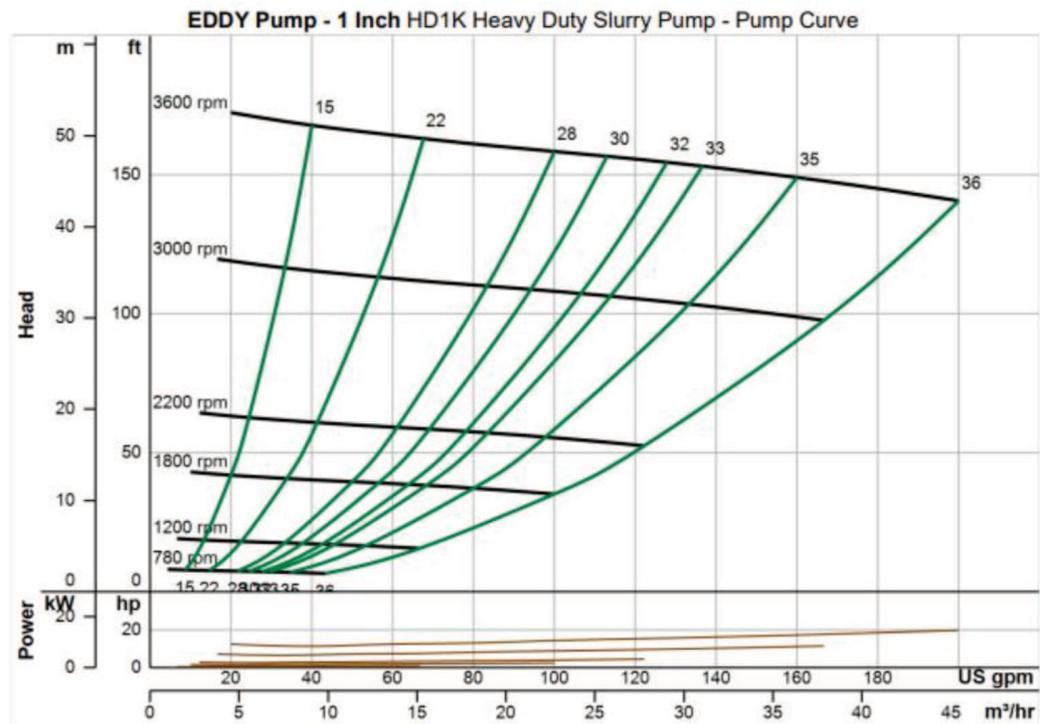


Figura IV.XVI.III.I. Curvas de bombeo para la bomba Eddy Pump HD1K seleccionada para la recirculación y purga de lodos.

IV.XVII. Tratamiento de lodos purgados

Los lodos purgados y recolectados de los sedimentadores primario y secundario recibirán un tratamiento a través de un espesador marca Wanda Machinery modelo LW250 (ficha técnica en el Anexo VIII) y así poder reducir su volumen con el objetivo de ahorrar costos de la posterior gestión para disposición final.

Estos lodos generados serán recolectados por un operador autorizado con una frecuencia determinada para cada campaña. Para el acopio de los lodos generados y purgados en el tratamiento secundario se propone la instalación de un tanque de 350 m³. Los lodos deberán ser purgados con una frecuencia de 10 días, tratados en el filtro de banda y depositados en el tanque de acopio, que una vez lleno deberá ser vaciado por el operador contratado.

En la Tabla IV.XVII.I. se muestran los kilogramos por día de lodos generados en cada uno de los tratamientos especificados en la misma.

Tabla IV.XVII.I. Kilogramos diarios de lodo generado por los distintos tratamientos.

| Parámetro | Valor |
|---|--------|
| 1° Tanque aerobio de lodos activos y nitrificación ($\frac{kg}{d}$) | 136,41 |
| 2° Tanque aerobio de lodos activos y nitrificación ($\frac{kg}{d}$) | 167,85 |

Capítulo V

Cómputo y presupuesto

El análisis de cómputos y presupuesto resulta vital para la realización del proyecto, ya que se analiza la factibilidad económica del mismo y la sostenibilidad en el tiempo. A lo largo de este capítulo se analizará la inversión inicial a realizar, los costos de operación y mantenimiento de la planta, una comparativa con el tratamiento de los efluentes a través de una tercerización de los mismos y por último un análisis de factibilidad del proyecto.

V.I. Inversión inicial

La inversión inicial hace referencia al capital necesario para comenzar con el proyecto, su construcción y puesta en marcha. La inversión a realizar incluye los costos asociados a las tareas previas a la obra (excavación, movimiento de suelos), la compra de los materiales, adquisición e instalación de equipos, gastos administrativos y honorarios.

A continuación, en la Tabla V.I.I, se describen los costos asociados a la construcción y puesta en marcha de la planta de tratamiento, diferenciados en sus distintas etapas.

Tabla V.I.I. Costos asociados a la inversión inicial del proyecto.

| Movimiento de suelos | | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD) |
| Excavación para unidades | m ³ | 500 | 30,00 | 15.000,00 | 21.075,00 |
| Excavación para cañerías | m ³ | 675 | 9,00 | 6.075,00 | |

Continuación Tabla V.I.I. Costos asociados a la inversión inicial del proyecto.

| Pretratamiento | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD) |
| Adquisición e instalación de rejás | un | 2 | 700,00 | 1.400,00 | 25.400,00 |
| Adquisición e instalación de tamices | un | 2 | 12.000,00 | 24.000,00 | |
| Tanque de eculización | | | | | |
| Estructura de hormigón | m ² | 177 | 30,00 | 5.310,00 | 8.775,00 |
| Difusores Repicky CB-300 | un | 293 | 5,00 | 1.465,00 | |
| Soplador Repicky R1.5 | un | 1 | 2.000,00 | 2.000,00 | |
| Sedimentador primario | | | | | |
| Estructura de hormigón | m ² | 13 | 30,00 | 390,00 | 13.655,00 |
| Puente barredor ZXN4 | un | 1 | 9.000,00 | 9.000,00 | |
| Compuerta de fondo | un | 1 | 85,00 | 85,00 | |
| Vertederos tipo Thompson | un | 38 | 110,00 | 4.180,00 | |

Continuación Tabla V.I.I. Costos asociados a la inversión inicial del proyecto.

| Alternativa N° 1: Unidades del sistema de lodos activos | | | | | |
|--|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD) |
| Estructura de hormigón reactores anóxicos | m ² | 28 | 30,00 | 840,00 | 6.760,00 |
| Estructura de hormigón reactores aerobios | m ² | 50 | 30,00 | 1.500,00 | |
| Difusores Repicky RG-300 | un | 95 | 28,00 | 2.660,00 | |
| Soplador Repicky R100 | un | 2 | 220,00 | 440,00 | |
| Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B | un | 2 | 660,00 | 1.320,00 | |
| Alternativa N° 2: Lecho percolador y sistema carrusel | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD) |
| Estructura del lecho percolador | m ² | 170 | 30,00 | 4.920,00 | 17.590,00 |
| Relleno de diseño | m ³ | 115 | 68,00 | 7.820,00 | |
| Sistema distribuidor de 2 brazos | m | 2 | 190,00 | 380,00 | |
| Reductor de velocidad para distribuidor | un | 1 | 790,00 | 790,00 | |
| Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B | un | 2 | 660,00 | 1.320,00 | |
| Estructura del sistema carrusel | m ² | 30 | 30,00 | 900,00 | |
| Difusores Repicky RG-300 | un | 30 | 28,00 | 840,00 | |
| Soplador Repicky R100 | un | 2 | 220,00 | 440,00 | |

Continuación Tabla V.I.I. Costos asociados a la inversión inicial del proyecto.

| Sedimentador secundario | | | | | |
|--------------------------------|----------------|----|----------|----------|------------------|
| Estructura de hormigón | m ² | 29 | 30,00 | 870,00 | 14.350,00 |
| Puente barredor ZXN6 | un | 1 | 9.500,00 | 9.500,00 | |
| Compuerta de fondo | un | 1 | 120,00 | 120,00 | |
| Vertederos tipo Thompson | un | 34 | 110,00 | 3.740,00 | |
| Tratamiento terciario | | | | | |
| Estructura de hormigón | m ² | 7 | 30,00 | 210,00 | 210,00 |

Continuación Tabla V.I.I. Costos asociados a la inversión inicial del proyecto.

| Sistema de conducción | | | | | |
|---|---------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD) |
| Caudalímetro FM-080AI | un | 3 | 405,00 | 1.215,00 | 10.061,00 |
| Cañería PVC Clase 10 Ø 250 mm | m | 40 | 6,50 | 260,00 | |
| Cañería PVC Clase 10 Ø 400 mm | m | 55 | 7,50 | 412,50 | |
| Cañería PVC Clase 10 Ø 225 mm | m | 1500 | 5,00 | 7.500,00 | |
| Empalme T | un | 3 | 23,00 | 96,00 | |
| Codo 90° | un | 9 | 25,00 | 225,00 | |
| Válvula antirretorno | un | 2 | 40,00 | 80,00 | |
| Válvula de compuerta | un | 2 | 55,00 | 110,00 | |
| Válvula globo | un | 5 | 32,50 | 162,50 | |
| Sistema de bombeo | | | | | |
| Bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2. 50B | un | 2 | 925,00 | 1.850,00 | 3.511,00 |
| Bomba Eddy Pump HD1K | un | 3 | 400,00 | 1.200,00 | |
| Bomba dosificadora Dosivac 015 | un | 1 | 180,00 | 180,00 | |
| Bomba dosificadora Dosivac 033 | un | 1 | 281,00 | 281,00 | |
| Instalación eléctrica | | | | | |
| Tablero eléctrico | un | 1 | 80,00 | 80,00 | 125,00 |
| Instalación tendido eléctrico | m | 15 | 3,00 | 45,00 | |

Continuación Tabla V.I.I. Costos asociados a la inversión inicial del proyecto.

| Tratamiento de lodos purgados | | | | | |
|---|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD) |
| Espesador de lodos Wanda LW250 | un | 1 | 10.000,00 | 10.000,00 | 10.130,00 |
| Estructura de hormigón tanque de acopio | m ³ | 71 | 30,00 | 2.130,00 | |
| Obra civil | | | | | |
| Placas de Durlock | un | 25 | 10,00 | 250,00 | 729,00 |
| Ventanas | un | 3 | 58,00 | 174,00 | |
| Puertas | un | 1 | 95,00 | 95,00 | |
| Placas de chapa para techos | m ² | 15 | 14,00 | 210,00 | |
| Servicio profesional | | | | | |
| Diseño de la planta y confección de informe | un | 1 | 2.000,00 | 2.000,00 | 10.890,00 |
| Supervisión de montaje y puesta en marcha | hs | 150 | 15,00 | 2250,00 | |
| Capacitación al personal | hs | 16 | 15,00 | 240,00 | |
| Mano de obra | hs | 800 | 8,00 | 6.400,00 | |
| Inversión inicial con alternativa N°1 de lodos activos | | | | | 125.671 |
| Inversión inicial con alternativa N°2 de lecho percolador y sistema carrusel | | | | | 136.501 |

V.II. Operación y mantenimiento

En el presente apartado se estiman los costos asociados al funcionamiento de la planta de tratamiento una vez que ésta haya sido puesta en marcha. En esta clasificación se incluyen los costos asociados a los insumos, mantenimiento, costo por disposición de lodos y gasto energético.

A continuación, en la Tabla V.II.II, se describen los costos asociados a la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

Tabla V.II.II. Costos asociados a la operación y mantenimiento de la planta proyectada.

| Consumo energético | | | | | |
|--|--------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|------------------------|
| Descripción | Potencia instalada (Kw) | Costo unitario pico (USD) | Costo unitario fuera de pico (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD/mes) |
| Tamiz rotativo TR 40/50 | 0,25 | 4,38 | 2,83 | 1,80 | 250,11 |
| Soplador Repicky R1.5 | 5,96 | | | 42,97 | |
| Soplador Repicky R100 | 2,40 | | | 17,30 | |
| Bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2.50B | 2,20 | | | 15,86 | |
| Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B | 1,30 | | | 9,37 | |
| Bomba Eddy Pump HD1K | 15,00 | | | 108,15 | |
| Espesador de lodos Wanda LW250 | 7,50 | | | 54,08 | |
| Bomba dosificadora Dosivac 015 | 0,04 | | | 0,29 | |
| Bomba dosificadora Dosivac 033 | 0,04 | | | 0,29 | |

Continuación Tabla V.II.I. Costos asociados a la operación y mantenimiento de la planta proyectada.

| Insumos | | | | | |
|--|---------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD/mes) |
| Sulfato de aluminio | kg | 2050 | 1,27 | 2.603,50 | 3.529,18 |
| Hipoclorito de sodio | lt | 1155,64 | 0,84 | 925,68 | |
| Costos administrativos, servicios y mantenimiento | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Costo unitario (USD) | Subtotal (USD) | Total (USD/mes) |
| Operador | un | 2 | 774,00 | 1.548,00 | 3.438,80 |
| Técnico químico | un | 1 | 575,00 | 1.150,00 | |
| Mantenimiento (5% de inversión anual) | - | 1 | 500,00 | 500,00 | |
| Disposición final de lodos | tn/mes | 4,30 | 56,00 | 240,80 | |
| Costo total mensual | | | | | 7.218,09 |

V.III. Tercerización del tratamiento de efluentes

De acuerdo al proveedor consultado, el costo estimado para tratar 1 m^3 del efluente líquido realizando una tercerización del mismo y para una industria de conservas es de $1,15 \frac{\text{USD}}{\text{m}^3}$.

Calculando que mensualmente dentro de la industria se generan aproximadamente 15.228 m^3 de efluente, el costo mensual por el servicio sería de $17.512 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$ y un gasto anual de 210.144 USD.

V.IV. Análisis de factibilidad

En el presente apartado se detallan los beneficios que se obtienen al optar por el emplazamiento de la planta de tratamiento de efluentes en lugar de continuar con la tercerización del servicio. Al tratarse de un deber de cumplimiento regulatorio ambiental, los beneficios no sólo están asociados al ahorro en costos directos, sino que también existe un ahorro asociado a posibles incumplimientos regulatorios en la gestión del efluente lo cual puede derivar en sanciones.

Por otro lado, en un futuro puede evaluarse la posibilidad de reutilizar los efluentes tratados dentro del predio de la industria para realizar tareas de lavado y regado, conllevando así a una disminución de la huella hídrica.

Como puede observarse en la Tabla V.IV.I., donde se compara el gasto total a 25 años de la tercerización del efluente contra el gasto total de la construcción, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de efluentes diseñadas, se puede observar que esta última opción implica una reducción a 25 años en el costo del tratamiento actual de los efluentes del 56,40% para la alternativa N°1 y 55,65% para la alternativa N°2.

Tabla V.IV.I. Comparativa entre los costos asociados a las plantas diseñadas vs. la tercerización del efluente a 25 años.

| Descripción | Costo total a 25 años (USD) | Costo por m ³ ($\frac{USD}{m^3}$) | Observación |
|---|-----------------------------|--|-------------|
| Tercerización del efluente | 5.253.600,00 | 1,15 | - |
| Adquisición, operación y mantenimiento de la planta con alternativa N°1 | 2.291.098,00 | 0,50 | ↘ 56,40% |
| Adquisición, operación y mantenimiento de la planta con alternativa N°2 | 2.301.928,00 | 0,51 | ↘ 55,65% |

V.V. Selección final del tratamiento secundario

Tomando en cuenta la selección preliminar realizada en el apartado III.IV, donde se consideraron las ventajas y desventajas de los sistemas propuestos, y en conjunto con el análisis de factibilidad realizado en el apartado V.IV., el tratamiento biológico secundario seleccionado es el de lodos activos con el sistema Bardenpho.

Considerando que el lugar ocupado por la planta proyectada no es un limitante, esta decisión se justifica en primer lugar y desde un punto de vista técnico a las ventajas que el sistema presenta en la eliminación de nutrientes. En este tipo de tratamiento, la eliminación de los nutrientes se ve favorecida, presentando así una mayor eficiencia en este punto.

Otro de los puntos sobre los cuales se basa la elección del tratamiento es en la flexibilidad operativa, la cual es mayor en sistemas de lodos activos y que resulta apropiada para este tipo de efluente que puede presentar variación de caudal según debido a la producción estacional.

Por último, si bien los costos totales a 25 años y la reducción del valor de tratamiento por m^3 son similares (aunque levemente mayores para la alternativa N°2), la mayor diferencia en costos se encuentra en la inversión inicial, con lo cual y de acuerdo a lo solicitado por Vita Hnos. S.A. resulta adecuado optar por la alternativa N°1 ya que presenta una amortización y una reducción de costos a 25 años levemente superior.

Capítulo VI

Estudio de Impacto Ambiental

En el presente capítulo se dedica a la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EslA), para la etapas de construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes diseñada para la industria Vita Hnos. S.A.

El objetivo de este estudio es identificar, analizar y valorar los impactos, tanto positivos como negativos, del emplazamiento de la planta de tratamiento en la zona circundante a la industria. Luego de esto, se confeccionará un Plan de Gestión Ambiental (PGA) que contenga medidas de prevención, de mitigación y correctivas para garantizar un correcto manejo ambiental del proyecto.

El EslA cuenta con: una descripción de la metodología adoptada para la realización del estudio, el marco normativo aplicable al proyecto, una descripción del proyecto, la línea de base ambiental de la localización de emplazamiento, la descripción de los impactos de cada una de las etapas mencionadas, el área de influencia directa e indirecta del proyecto y el anteriormente mencionado plan de gestión ambiental.

La metodología seguida para llevar a cabo el estudio consta de los siguientes pasos:

- A. Recopilación de normativa legal aplicable, considerando tanto nacional como provincial y municipal.
- B. Descripción de cada una de las etapas del proyecto y las actividades llevadas a cabo en cada una de ellas.
- C. Confección de la línea de base ambiental, describiendo la flora y fauna tanto terrestre como marina de la zona.
- D. Identificación de los impactos generados por las actividades del proyecto y su interacción con la flora y fauna circundante.
- E. Con los impactos ya identificados, se procede al análisis y valoración de cada uno de los impactos tanto positivos como negativos utilizando la matriz de Leopold.

F. Confección del PGA con las diferentes medidas propuestas y su correspondiente plan de monitoreo.

VI.I. Marco legal

A continuación se describe brevemente la normativa vigente consultada para la confección del presente EsIA.

VI.I.I Normativa nacional

- Constitución Nacional, Artículo 41: derecho a los ciudadanos para gozar de un ambiente sano.
- Constitución Nacional, Artículo 124: otorga a las provincias el dominio de los recursos naturales existentes en sus territorios.
- Ley N° 25.675, Ley General del Ambiente: establece los presupuestos mínimos y los principios de la política ambiental nacional.
- Ley N° 24.051, Ley de Residuos Peligrosos: dispone toma en cuenta la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos. A su vez establece los criterios para calificar a un residuos como peligroso.
- Ley N° 25.688, Régimen de Gestión Ambiental de Aguas: establece los presupuestos mínimos para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.
- Decreto 776/92, Recursos Hídricos: asigna a la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano el poder de control de contaminación de las aguas y la preservación de los recursos hídricos.
- Resolución N° 4/2019, Registro nacional de operadores de plantas de tratamiento: crea el Registro Nacional de operadores de plantas de tratamiento, donde se encontrarán agrupados los profesionales, técnicos y/o idóneos habilitados para la operación de las plantas de tratamiento de vertidos.
- Resolución N° 97/01, Efluentes Líquidos: aprueba el Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos.
- Resolución N° 336/03, Parámetros de descarga admisibles: establece los límites de vuelco a los diferentes cuerpos de agua (cloacal, superficial, suelo).

VI.I.II Normativa provincial

- Ley N° 11.723, Protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general: tiene por objeto la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en general en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, a fin de preservar la vida en su sentido más amplio; asegurando a las generaciones presentes y futuras la conservación de la calidad ambiental y la diversidad biológica.
- Constitución de la Provincia de Buenos Aires, Artículo 28: derecho a gozar de un ambiente sano y deber de conservarlo y protegerlo en su provecho y el de las generaciones futuras.
- Ley N° 11.720, Ley de Residuos Especiales: dispone toma en cuenta la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos. A su vez establece los criterios para calificar a un residuos como peligroso.
- Ley N° 1.257, Código de Aguas: Régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la provincia de Buenos Aires.

VI.II. Descripción del proyecto

El proyecto propuesto consta de la construcción y operación de una planta de tratamiento de efluentes para la depuración de los efluentes provenientes del proceso productivo de la planta de conservas de atún y mariscos Vita Hnos. S.A.

El proyecto se enmarca en la necesidad de contar con una solución que resulte tanto económica como ambientalmente viable para reducir la contaminación sobre el río Paraná a causa del volcado del efluente anteriormente mencionado.

Los efectos ambientales ocasionados por el emplazamiento de la planta se evaluarán en las tres etapas de las que el proyecto consta, que son la construcción, la operación (incluyendo la puesta en marcha y operación) y el cierre.

La planta proyectada cuenta con una serie de procesos unitarios que garantizan que las condiciones de vuelco se cumplan. Estos son:

- Sistema de rejas
- Tamiz estático
- Tanque de homogenización
- Sedimentador primario
- Sistema bardenpho, compuesto por dos reactores anóxicos y dos reactores aerobios de lodos activos
- Sedimentador secundario
- Cámara de cloración, donde se añade hipoclorito de sodio para la desinfección
- Cámara de muestreo
- Filtro de bandas para el tratamiento de los lodos
- Tanque de almacenamiento de lodos tratados
- Sala de compresores

En lo que respecta al vuelco del efluente tratado, este se hará en el río Paraná, dado que el parque industrial donde se encuentra la planta productiva está a la vera del río, en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos.

VI.III. Etapas del proyecto

VI.III.I Construcción

Durante la etapa constructiva de la planta, se realizará el emplazamiento de las unidades dentro del predio de la industria. El área destinada para el emplazamiento de la planta de tratamiento es de 0,7 hectáreas. El tiempo estimado para la finalización de la construcción es de 5 meses.

Las actividades desarrolladas durante esta etapa son:

- Nivelación y preparación del terreno
- Construcción del sistema de cañerías
- Excavación y montaje de los cimientos de las unidades
- Emplazamiento de los soportes estructurales
- Instalación de las unidades de tratamiento
- Interconexión entre las diferentes unidades

- Verificación del funcionamiento de las unidades individualmente y en todo su conjunto

Una vez finalizada la obra civil y verificado el correcto funcionamiento de las unidades instaladas, se pasará a la etapa de operación y se pondrá en marcha la planta hasta alcanzar el estado estacionario de la misma.

VI.III.II Operación

La etapa de operación constará de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la planta. Durante esta etapa, se tratarán las aguas residuales generadas en el proceso productivo y se volcarán en el río Paraná. El tiempo de vida del proyecto en la etapa de operación será de 25 años.

Las actividades consideradas durante la etapa de operación son aquellas que se encuentran tanto en condiciones normales como anormales de la planta. Estas son la operación diaria de tratamiento, las tareas de mantenimiento tanto correctivo como preventivo, posibles fluctuaciones que puedan darse en la carga del efluente.

Además, se realizarán controles de los parámetros en laboratorio, tomando muestras en la zona de vuelco.

VI.III.III Cierre

La etapa de cierre comprende todas las actividades necesarias para recuperar las condiciones ambientales previas al inicio del proyecto.

Estas actividades son el desmantelamiento de las unidades removiendo los cimientos construidos, y cerrando los conductos y conexiones de agua realizadas.

Una vez completa la etapa de cierre, se propone realizar un monitoreo de la calidad del agua y de aquellos factores ambientales que puedan verse afectados, durante un tiempo determinado. Además, y sólo en caso de ser necesario, se realizará la recomposición de la capa vegetal en la zona de emplazamiento.

VI.IV. Línea de base

VI.IV.I Características climáticas de la zona

El clima es templado húmedo de llanura, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 15 y 20°C. Tanto en invierno como en primavera suele haber heladas. Las temperaturas pueden llegar hasta los 44°C en verano y a los -5°C en invierno. El clima de la zona está fuertemente influenciado por el río Paraná, ya que modera la temperatura disminuyendo la frecuencia de las heladas.

El valor anual promedio de precipitaciones es de 1.082 mm, donde primavera y otoño son las estaciones más lluviosas, mientras que el invierno es la más seca. Durante los meses de diciembre, enero y febrero es probable que exista un déficit hídrico debido a la alta evapotranspiración, consecuencia de las altas temperaturas durante el verano.

Por último, los vientos predominantes son los del oeste, seguidos por los del norte y los del sur, con velocidades promedio de $9,3 \frac{km}{h}$. Entre los fenómenos extemporáneos, predominan la Sudestada y el Pampero, con velocidades entre los 50 y $60 \frac{km}{h}$.

VI.IV.II Geomorfología

El territorio del partido está completamente rodeado por cursos de agua, de ahí el nombre. El noreste limita con el río Paraná, el noroeste con el arroyo del Medio y al sureste con el arroyo Ramallo.

El partido de San Nicolás cuenta con un 98% de superficie continental y un 2% restante de superficie insular. El sector continental integra la Pampa Ondulada, llanura formada por sedimentos continentales. La superficie del suelo es ligeramente ondulada con una suave inclinación hacia el noreste con una cota cercana a los 40 metros en el oeste y una cota aproximada a los 15 metros a orillas del río Paraná.

Por su parte, la cuota de superficie insular tiene una morfología totalmente diferente ya que su origen es completamente fluvial. Gran

parte de su morfología corresponde a: llanura de bancos con arenales, bañados y pantanos, y a llanura de meandros caracterizada por albardones y lagunas semilunares.

Debido a lo heterogénea que es la zona, existe un gran amosaicamiento del suelo, lo que permite una dualidad ganadero-agrícola en unidades productivas pequeñas.

VI.IV.III Hidrología

La hidrología del sitio se caracteriza por poseer una gran extensión de humedales, como así también numerosos cuerpos de agua superficial. Frente a las barrancas de la ciudad se pueden observar tierras inundables. Aquí se forman numerosas islas por el proceso de adosamiento de bancos, el cual consiste en la formación de albardones debido a los cambios de dirección de la corriente principal del río. Estos albardones formados encierran lagunas de gran profundidad como las lagunas La Larga y La Quebrada.

En cuanto a los cuerpos de agua superficial, el más destacable es el río Paraná. Este río presenta un caudal promedio de $16.000 \frac{m^3}{s}$ a lo largo de sus 4.000 km en dirección norte-sur. Sus aguas son turbias debido a la gran cantidad de sólidos en suspensión y tiene un pH levemente alcalino y baja conductividad. El ciclo hidrológico del río Paraná, cerca de la zona de emplazamiento del proyecto, se caracteriza por presentar crecidas por encima de los 2 m.s.n.m. en el mes de febrero y bajantes en agosto-septiembre por debajo de los 2 m.s.n.m. Durante las crecientes, el agua del río cubre parte de la vegetación, mientras que en las bajantes suelen ocasionarse grandes sequías. Estas variaciones provocan modificaciones geomórficas como así también en la productividad de la zona.

En su tramo inferior, el río Paraná se divide en dos brazos: el Paraná Guazú, que es el mayor y que funciona de límite interprovincial con Entre Ríos, y el Parana Pavón, que discurre íntegramente por territorio entrerriano.

Por otro lado se encuentra el arroyo Ramallo, originado por la confluencia de los arroyos Manantiales Grande y Manantiales Chico. Este arroyo recorre 80 km antes de su desembocadura en el río Paraná

Guazú. No existen registros de la altura hidrométrica a lo largo de su cauce.

Por último, se encuentra el Arroyo del Medio, el cual se origina cerca de la localidad de Juncal, provincia de Santa Fe. Su longitud total es de aproximadamente 120 km. Durante su cauce, el arroyo es alimentado por diversas cañadas, una de las mayores es la Cañada de Roldán. El arroyo tiene un régimen subterráneo y un caudal que en su desembocadura varía entre los 7 y $8 \frac{m^3}{s}$.

En lo que respecta a las aguas subterráneas, se distinguen tres secciones: Hipopuelches (sección inferior), Puelches (sección media) y Epipuelches (sección superior).

La sección superior porta dos capas acuíferas, una semiconfinada y una libre. La capa libre en algunas zonas se encuentra agotada o en ocasiones aflorando debido a periodos de muy lluviosos o al cese de explotación de agua subterránea. Sus aguas se caracterizan por ser de mala calidad debido a su contaminación química y bacteriológica ocasionada por los pozos sépticos domiciliarios. La primera capa está limitada superior e inferiormente por sedimentos poco permeables en profundidades que van desde los 10 a los 30 metros. Proporciona caudales de extracción muy dispares con aguas duras con exceso de nitratos y contaminación bacteriológica y de oligoelementos de origen industrial provenientes de residuos derivados a pozos filtrantes.

En cuanto a la sección media, es portadora del acuífero Puelche, segunda napa semiconfinada asentada sobre sedimentos impermeables que limitan la filtración descendente. En el límite superior existen sedimentos permeables que permiten la conexión hidráulica con los acuíferos superiores o sección Epipuelches, lo cual influye en su recarga y contaminación.

Por último, en lo que respecta a la sección inferior o Hipopuelches, la información que existe es escasa debido a las pocas perforaciones que lo alcanzan. Es portadora de, por lo menos, 3 capas acuíferas confinadas sometidas a gran presión artesiana. El acuífero superior de esta sección si bien presenta caudales elevados, también presenta tenores salinos de alto valor. Además diversas perforaciones arrojaron

que se trata de aguas altamente mineralizadas y de características salobres.

VI.IV.IV Usos del suelo

En la zona, los usos del suelo están regulados por el decreto-ley provincial N° 8.912 del año 1977, la cual rige el ordenamiento territorial, define y regula el uso, ocupación, subdivisión y equipamiento del suelo. Además, y sumado a la ley mencionada anteriormente, se encuentra la ordenanza N° 2.590 del año 1989. Ambas delimitan al partido en dos áreas; rurales y urbanas. De las 68.000 hectáreas del partido, 2.369 son urbanas y 65.631 son rurales.

En lo que respecta a las áreas urbanas, los usos previstos por las normas son: residencial, comercial, de equipamiento, industrial y de esparcimiento.

En cuanto al área rural, el suelo muestra unidades de explotación relativamente pequeñas dedicadas fundamentalmente a la agricultura (aproximadamente 1.000 productores con superficies de 80 hectáreas en promedio). La ganadería se realiza únicamente en zonas donde la agricultura no es conveniente debido al anegamiento o la pendiente del terreno. Además se trata de una actividad poco desarrollada en el partido ya que los campos no cuentan con alambrados en buenas condiciones y es frecuente el robo de animales.

En lo que respecta a las barrancas, además de la urbanización y el desarrollo portuario e industrial, es frecuente la extracción de tosca. Actualmente, y gracias a la ordenanza municipal N° 3.629 que prohíbe esta actividad dentro del Parque Aguiar, los sectores de barranca del parque son los únicos del partido que conservan la fisonomía original.

Por último, en San Nicolás existía un basural a cielo abierto en los terrenos inundables dentro del Parque Aguiar. Hoy en día, este relleno se encuentra cerrado y tapado, sin embargo toneladas de residuos permanecen aún allí. La disposición final de los residuos domiciliarios se realiza en el relleno sanitario habilitado que está ubicado en un área rural.

VI.IV.V Flora y fauna de la región

El partido incluye dos ambientes altamente jerarquizados que son el Amazónico, ocupado en el Delta y la llanura de inundación del Paraná, y el Chaqueño, que ocupa la pampa ondulada y una franja de la barranca.

En lo que respecta a la flora y fauna de la región, se la puede caracterizar por los tres tipos de ambientes que hay en la zona, pastizal, espinal y humedal.

Los pastizales desarrollados sobre la llanura pampeana se caracterizan por presentar suelos tipo brunizem, bien drenados y estructurados, y ricos en materia orgánica. La vegetación original de estos suelos era la estepa gramínea clímax, conocida como pastizal pampeano, y el cual hoy en día se encuentra muy modificado y solo se lo puede encontrar en sectores de la barranca o en valles de inundación de arroyos y cañadas. En su lugar, estos pastizales han sido reemplazados por cultivos de soja, trigo, maíz y sorgo, o por los diferentes asentamientos urbanos. En este tipo de ambiente los grandes herbívoros que podían hallarse fueron desplazados por las modificaciones sufridas y hoy en día se pueden hallar zorrinos, peludos, comadrejas, lagartos y una alta diversidad de aves. Algunos carnívoros como el zorro y el gato montés pueden ser vistos ocasionalmente.

En las barrancas, ubicadas al margen derecho del río Paraná puede observarse el ambiente espinal, caracterizado por la presencia de la roca denominada cotidianamente como tosca. Su pendiente permite un rápido drenaje del agua de lluvia, lo que favorece el asentamiento de especies arbóreas adaptadas a sequías y que son características del norte argentino. El árbol dominante es el tala, sin embargo originalmente podían observarse también algarrobos blancos, chañares, sombra de toro y tembetaries, los cuales fueron desapareciendo debido a su buena madera. Hoy en día, además del tala, pueden observarse ombúes, molles, ceibos, curupés y espinillos en los pequeños parches de bosque que aún persisten. Por debajo de estos, se encuentra el sotobosque conformado por arbustos como el quiebra arados, el chucupí, la barba de chivo, el cedrón de monte y *Schaefferia argentinensis*. El estrato más bajo lo ocupan hierbas como el

camará, verbenas, labiadas, salvia morada y lucera. También pueden hallarse cactus como las tunas y cardones. Estos bosques funcionan de refugio para las comadreas, murciélagos y diversas especies de ratones. Además, especies de aves como el cortarramas, pijuí y la cata común están asociadas al tala. También estos bosques son utilizados por golondrinas y camineras para nidificar. En lo que respecta a reptiles, en las barrancas las iguanas excavan sus refugios, y también pueden observarse lagartijas y culebras.

En cuanto a los humedales, tercer y último ambiente, están caracterizados por encontrarse temporal o permanentemente anegados. En estos humedales, respecto a la flora, es común hallar pajonales, juncales y totorales. En cuanto a la fauna característica, los mayores mamíferos de la región son los carpinchos, seguidos por las nutrias y raramente vistos el lobito de río y el gato montés. En lo que respecta a aves, es común avistar cigüeñas, tuyuyús, chajás, garzas mora y caraos. En los pajonales pueden observarse doraditos y junqueros. En los bajíos de la ribera pueden observarse reptiles como tortugas, culebras y yararás. Entre los anfibios se destacan la ranita de zarzal, la ranita trepadora bonaerense y la ranita llorona. Respecto a las comunidades acuáticas, son comunes los camalotes y los carrizales

VI.IV.VI Situación socio-económica

En el año 1991 San Nicolás tenía un 12,9% de los hogares con necesidades básicas insatisfechas (NBI). Para calcular las NBI, intervienen 5 variables fundamentales que son: la capacidad de subsistencia, la provisión de agua potable en la vivienda, la calidad de la vivienda, el hacinamiento en la vivienda y la asistencia escolar. Y se considera hogar NBI a aquél que no satisface al menos una de las necesidades definidas como básicas.

La distribución espacial de los hogares con NBI, marca la mejor situación en la zona centro de la ciudad (0-10%), desmejorando en la sudeste (10-20%), luego en la sudoeste (20-30%), y la peor situación en la noroeste (más del 30%, con hogares que superan el 50%).

En lo que respecta a situación laboral, la tasa de desempleo es del 14,7%, mientras que los subocupados ascienden a 19,1%, con lo que el total de la población con problemas de ocupación asciende a 33,8%.

De acuerdo a una muestra base más reciente, el nivel de estudios máximo alcanzado de los desocupados es el de primario completo, seguido por el secundario completo. En lo que respecta a estudios terciarios y universitarios completos, el porcentaje de desocupados es del 2% y nula respectivamente.

Desde el punto de vista de las edades, el 48% de los desocupados de la muestra son menores de 30 años, el 37% tienen entre 30 y 49 años y el 15% tiene 50 años o más.

De acuerdo al Censo realizado en el año 1998 entre la Secretaría de Economía y Hacienda de la Municipalidad y el IDEB, en el partido de San Nicolás existen 5184 establecimientos. De estos, 2732 de los establecimientos de la ciudad desempeñan actividad comercial, 2144 de servicios y 340 industriales, estos últimos con una fuerte presencia del rubro metalúrgico. ^[26]

El potencial económico de San Nicolás se debe a: su posición geográfica, su buena accesibilidad y comunicaciones con las grandes urbes nacionales, el acceso a transporte nacional e internacional para las distintas actividades económicas y su gran variedad de mano de obra especializada. Sin embargo, las infraestructuras de apoyo a la actividad empresarial requieren de adecuaciones a los desafíos competitivos.

Por su parte, el Parque Industrial Comirsa resulta uno de los recursos emblemáticos con los que cuenta la región para apoyar el despliegue del potencial productivo. Sus 400 hectáreas, junto con su cercanía al Puerto de San Nicolás y sus conexiones viales y ferroviarias, son algunas de sus grandes ventajas.

En lo relativo a recursos humanos, la zona cuenta con una amplia y gran oferta educativa en escuelas técnicas, que forma a los estudiantes en disciplinas vinculadas a la actividad industrial de la región. Además, algo positivo es la ayuda a fomentar las actividades educativas, brindada por las grandes empresas aledañas.

Sin embargo, existe una necesidad de mejorar la articulación entre la oferta educativa local y la realidad económica local/regional. Debido a las grandes dimensiones y la influencia que la ciudad ejerce sobre una amplia región, se plantea la necesidad de mejorar y optimizar la oferta

educativa en los niveles terciario y universitario, como así también la necesidad de impulsar carreras terciarias con salida laboral en distintos campos, orientados a la problemática regional como lo son el turismo, el polo metalmeccánico, el puerto, la agroindustria y las autopartistas.

En lo que respecta a la estructura del municipio, se halla un centro histórico consolidado, con todos los servicios básicos, con población residente de ingresos medios y altos y un tejido urbano compacto. A partir de este centro y hacia la periferia pueden encontrarse distintos barrios con características diferentes por falta de algún servicio básico o calles de tierra. Esto trae aparejado una serie de dificultades en la gestión urbana, como la provisión de servicios y obras por la extensión de la ciudad; el mal aprovechamiento de espacios verdes; el déficit en el ordenamiento territorial y un déficit en la calidad medioambiental de los espacios verdes y el control de la contaminación de la ciudad, sobre todo debido a la localización industrial, ya que existe el problema de la ubicación de la industria dentro de la ciudad, causante del impacto ambiental, contaminación acústica, visual y atmosférica presente.

Por último, la ciudad presenta un estándar aceptable de calidad vida, en comparación a ciudades medias del resto del país, tomando en cuenta dotación y calidad de los equipamientos y servicios locales, instalaciones y equipamiento para actividades culturales, artísticas y deportivas, provisión de servicios básicos, comercio y servicios personales. No obstante, la mayor parte de los problemas socio-demográficos, convergen en la existencia de grupos de bajos ingresos, con integrantes desocupados o subocupados. Estos son grupos poblacionales de riesgo, desde el punto de vista del deterioro de su calidad de vida, ya que se encuentran en zonas con carencias de infraestructura de servicios básicos e inadecuados lugares de radicación.

VI.V. Identificación y evaluación de los impactos

VI.V.I. Metodología de evaluación

Para la valoración de los impactos resultantes de la Evaluación de Impacto Ambiental de la planta de tratamiento a instalarse en el predio de Vita Hnos. S.A. se utilizó la matriz de Leopold, desarrollada en 1971. Esta consiste de un cuadro de dos entradas donde se relacionan causa y efecto sobre el cual actúa produciendo el impacto (Leopold 1971).

Lo que se hizo entonces fue identificar aquellos factores ambientales que se podrían ver afectados mediante las acciones del proyecto, en sus tres etapas: construcción; operación y mantenimiento; y cierre.

Luego de esto, se llevó a cabo una valoración numérica de los efectos, a través de valores predeterminados que se corresponden de acuerdo a las características propias de cada impacto. La suma de estos dio como resultado un valor único para cada impacto, lo cual permite determinar su importancia y significancia .

Para la valoración se tienen en cuenta los siguientes aspectos de cada efecto:

- Signo: puede ser negativo o positivo dependiendo según el efecto sea beneficioso o perjudicial.
- Intensidad (I): determina el grado de destrucción del factor ambiental se clasifican los impactos en total, si la destrucción del factor es completa, muy alta, alta, media y baja.
- Extensión (EX): identifica la superficie afectada por el efecto relevado, la misma puede ser puntual, parcial, extensa, total, crítica.
- Momento (MO): refiere al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor del medio considerado. Considera cuando el tiempo transcurrido es nulo, inmediato (si ocurre antes del año), entre 1 y 5 años, o si tarda más de 5 años en manifestarse.
- Persistencia (PE): alude al tiempo de permanencia del impacto en el entorno una vez generado. Clasifica los efectos como fugaces (menos

de un año), temporales (entre 1 y 10 años) o permanentes (más de 10 años).

- Reversibilidad (RV): expone la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, de retornar a las condiciones iniciales del mismo, por medios naturales, cuando el efecto desaparezca. Puede ser de corto plazo (reversible en menos de 2 años), medio plazo (entre 2 y 10 años) o irreversible, si nunca volverá a la forma inicial.
- Sinergia (SI): distingue el reforzamiento entre dos o más efectos simples, considerando que pueden no tener sinergismo, ser sinérgicos, o muy sinérgicos.
- Acumulación (AC): fenómeno mediante el cual los efectos son incrementales progresivamente. Pueden ser simples o acumulativos.
- Efecto (EF): determina si el efecto es directo o indirecto, será directo si la acción tiene un efecto inmediato sobre el factor ambiental, como puede ser el aumento de turbidez de un río por el movimiento de tierra y será indirecto si la causa se encuentra en las interdependencias.
- Periodicidad (PR): es la manifestación de la posibilidad de ocurrencia del efecto en el tiempo, clasificándose como irregular, periódico o continuo.
- Recuperabilidad (MC): se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana. Identifica si el efecto es recuperable inmediatamente, si es recuperable, pero a lo largo de un período de tiempo. Puede ser también mitigable, es decir recuperable en forma parcial o irrecuperable.

Una vez evaluado cada uno de los aspectos mencionados anteriormente, se obtiene el valor final a través de la siguiente ecuación:

$$I = \pm (3I + 2x + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Ecuación 67

Como se mencionó anteriormente, cada uno de los aspectos tendrá un valor determinado de acuerdo a sus características, presentadas en la Tabla VI.V.I.I.

Tabla VI.V.I.I. Valores predeterminados para evaluar los aspectos.

| Intensidad | | Extensión | | Momento | |
|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| Clasificación | Valor | Clasificación | Valor | Clasificación | Valor |
| Baja | 1 | Puntual | 1 | Largo plazo | 1 |
| Media | 2 | Parcial | 2 | Mediano plazo | 2 |
| Alta | 3 | Extenso | 4 | Inmediato | 4 |
| Muy alta | 8 | Total | 8 | Crítico | 8 |
| Total | 12 | Crítica | 12 | | |

| Persistencia | | Reversibilidad | | Sinergia | |
|---------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Clasificación | Valor | Clasificación | Valor | Clasificación | Valor |
| Fugaz | 1 | Corto plazo | 1 | Sin sinergismo | 1 |
| Temporal | 2 | Mediano plazo | 2 | Sinérgico | 2 |
| Permanente | 4 | Irreversible | 4 | Muy sinérgico | 4 |

| Periodicidad | | Efecto | | Acumulación | |
|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| Clasificación | Valor | Clasificación | Valor | Clasificación | Valor |
| Irregular | 1 | Indirecto | 1 | Simple | 1 |
| Periódico | 2 | Directo | 4 | Acumulativo | 4 |
| Continuo | 4 | | | | |

| Recuperabilidad | |
|-----------------------------|-------|
| Clasificación | Valor |
| Recuperable inmediatamente | 1 |
| Recuperable a mediano plazo | 2 |
| Mitigable | 8 |
| Irrecuperable | 10 |

A su vez, se puede determinar la importancia del impacto contrastando su valor con la escala presentada en la Tabla VI.V.I.II.

Tabla VI.V.I.II. Escala colorimétrica para los impactos de acuerdo a su valor.

| Valoración | Clasificación |
|----------------------|---------------|
| Impacto positivo (+) | Positivo |
| ≥ -25 | Irrelevante |
| Entre -26 y -50 | Moderado |
| Entre -51 y -75 | Severo |
| < -76 | Crítico |

Una vez valorados cada uno de los impactos, se confecciona la matriz de impacto ambiental, donde los cruces representan los impactos y las casillas en blanco significan que esa acción no produce impactos, sobre el aspecto analizado.

VI.V.II. Impactos de la construcción

A continuación se listan los diferentes impactos sobre cada uno de los componentes del medio ambiente, durante la etapa de construcción.

- Atmósfera: durante la construcción la atmósfera puede verse afectada por el levantamiento de material particulado debido a la excavación y preparación del terreno. Además existirá una cierta contaminación sonora por el uso de maquinaria.
- Suelo: la pavimentación, compactación por el uso de maquinaria y la excavación puede afectar en cierta medida el suelo para usos posteriores, como así también su capacidad de drenaje.
- Agua: si bien no será una gran afectación sobre este componente, los posibles impactos se deben al levantamiento de polvo y su posterior depósito del material particulado sobre el agua superficial. Además, las tareas de limpieza pueden conllevar a un arrastre de contaminantes hacia el río o mismo hacia el agua subterránea.
- Flora: la flora se verá afectada por el levantamiento del suelo y desmonte del área para las posteriores obras de construcción. Sin embargo, ya que se trata de un parque industrial donde el área está

destinada para la realización de este tipo de obras, el efecto no es considerable.

- Fauna: la fauna terrestre de la zona puede verse afectada por el ruido generado por las actividades durante la obra. Sin embargo, debido a la alta industrialización de la zona, este efecto no será relevante.
- Socio económico: el periodo de construcción implica un aumento en la necesidad de mano de obra, generando así un aumento de empleo, además de un posible aumento en la necesidad del uso de servicios como transporte, servicios médicos.

VI.V.III. Impactos de la operación

A continuación se listan los diferentes impactos sobre cada uno de los componentes del medio ambiente, durante la etapa de operación de la planta de tratamiento de efluentes.

- Atmósfera: el impacto más relevante sobre la atmósfera durante la operación de la planta es la generación de olores producto del tratamiento de los reactores biológicos.
- Suelo: durante la operación, ninguna de las actividades llevadas a cabo afectará significativamente el suelo.
- Agua: si bien un vertido de agua de buena calidad sobre el río puede afectar positivamente, este impacto será sumamente leve debido al gran caudal del río Paraná.
- Flora y fauna: no se esperan cambios significativos sobre la flora y fauna tanto terrestre como acuática de la zona.
- Socio económico: la operación de la planta puede estar acompañada de una leve generación de empleo debido a la necesidad de incorporar, ya sea de forma directa o subcontratada, mano de obra para las tareas de mantenimiento y funcionamiento de ella.

VI.V.IV. Impactos de posibles contingencias

Las posibles contingencias que puedan ocurrir durante alguna de las etapas del proyecto pueden tener un origen tanto natural como humano, las cuales en la mayoría de los casos generan impactos negativos sobre los componentes ambientales. Si bien su frecuencia será muy baja, su magnitud es variable y en ocasiones será elevada.

Algunas posibles contingencias del emplazamiento de la planta pueden ser las inundaciones o derrames, que ocasionarán un impacto negativo sobre la calidad del agua tanto superficial como subterránea, además de afectar negativamente la salud y seguridad tanto laboral como pública.

VI.VI. Matriz de impacto ambiental

Para la confección de la matriz, en primer lugar se identificaron las actividades a realizar en cada una de las diferentes etapas descriptas en el apartado anterior. Estas se encuentran detalladas en la Tabla VI.VI.I.

Tabla VI.VI.I. Actividades llevadas a cabo durante cada etapa.

| Etapas | Actividad |
|---------------|-------------------------|
| Construcción | Preparación del terreno |
| | Excavación |
| | Instalación de unidades |
| | Instalación de cañerías |
| | Generación de residuos |
| | Uso de maquinarias |
| Operación | Puesta en marcha |
| | Operación normal |
| | Gestión de residuos |
| | Gestión de lodos |
| | Mantenimiento |
| | Monitoreo |

Por otro lado, se identificaron los distintos factores ambientales afectados por cada una de estas tareas, descriptos en la Tabla VI.VI.II.

Tabla VI.VI.II. Factores ambientales afectados.

| Medio | Factor afectado | Impacto |
|------------------------|------------------------|---------------------|
| Medio físico biológico | Atmósfera | Calidad |
| | | Olores |
| | | Ruido |
| | Suelo | Compactación |
| | | Uso |
| | | Drenaje |
| | Agua | Calidad superficial |
| | | Subterránea |
| | Biodiversidad | Vegetación |
| | | Fauna |
| Medio socioeconómico | Economía | Empleo |
| | | Servicios básicos |

A continuación se muestra la matriz de impacto ambiental, en la Tabla VI.VI.III., donde se muestran los impactos para cada una de las actividades según el factor ambiental evaluado.

Tabla VI.VI.III. Matriz de impactos ambientales.

| Matriz de impactos ambientales | | | Construcción | | | | Operación | | | | Valor medio | | | |
|--------------------------------|---------------|--|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------|---------------------|------------------|-----------|
| | | | Preparación del terreno | Excavación | Instalación de unidades | Instalación de cañerías | Generación de residuos | Uso de maquinarias | Puesta en marcha | Operación normal | | Gestión de residuos | Gestión de lodos | Monitoreo |
| Medio físico biológico | Atmósfera | Calidad | -25 | -32 | | | -33 | -18 | | | -20 | | | -25.60 |
| | | Olores | | | | | -51 | | -19 | -25 | -26 | -26 | | -29.40 |
| | | Ruido | -24 | | -27 | -31 | | -42 | -30 | -27 | | | | -30.17 |
| | Suelo | Compactación | -38 | -23 | -27 | -24 | | -18 | | | | | | -26.00 |
| | | Uso | -27 | -44 | -26 | -26 | | -20 | | | -21 | -24 | | -26.86 |
| | | Drenaje | -40 | -29 | -29 | -23 | | | | | -19 | -25 | | -27.50 |
| | Agua | Calidad superficial | -40 | -32 | -28 | -25 | | | + | + | | | | -31.25 |
| | | Subterránea | -37 | -28 | -25 | -28 | | | | | -21 | -28 | | -27.83 |
| | Biodiversidad | Vegetación | -46 | -48 | -19 | -19 | -18 | -21 | | | -21 | | | -27.43 |
| | | Fauna | -29 | -22 | -19 | -17 | -22 | | | | | | | -21.80 |
| Medio Socioeconómico | Economía | Empleo | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | |
| | | Servicios básicos (infraestructura vial, transporte y energía) | | | | | -18 | | | | | | | -19.4 |
| Valor medio | | | -34.00 | -32.25 | -25.00 | -24.13 | -28.40 | -23.80 | -23.00 | -24.00 | -20.86 | -24.80 | + | -19.4 |

VI.VII. Área de influencia directa e indirecta

La determinación de las áreas de influencia directa e indirecta del emplazamiento de la planta se realizó considerando el grado de afectación, tanto positiva como negativa, que tendrá la construcción, operación y cierre de ésta sobre el ambiente circundante en aspectos tanto sociales como ambientales.

En cuanto al área de influencia directa (AID), se consideró que esta abarca todo el predio ocupado por la planta productiva y el área circundante hasta el río Paraná.

Por su parte, se consideró como área de influencia indirecta (AII) todo el terreno ocupado por el Parque Industrial Comirsa y las comunidades lindantes al mismo, y al río Paraná desde el punto de vuelco del efluente hacia aguas abajo.

VI.VIII. Plan de gestión ambiental

El objetivo del Plan de Gestión Ambiental (PGA) presentado a continuación tiene como objetivo prevenir, mitigar, evitar y/o corregir los potenciales impactos negativos descritos anteriormente.

Este plan se encuentra compuesto por distintos programas que contienen diversas medidas y acciones, asociadas a cada uno de los impactos, las cuales deben cumplirse para asegurar el correcto funcionamiento de la planta y el PGA.

Los diferentes programas que componen el PGA, y que serán descritos individualmente a continuación, son: el programa de prevención, el programa de monitoreo, el programa de mitigación, el programa de contingencia y el programa de capacitación.

VI.VIII.I. Programa de prevención

El programa de prevención consta de medidas que se implementan en la fase temprana del proyecto, ya que el foco de este programa es evitar que se produzcan los impactos ambientales. En la Tabla VI.VIII.I.I. se detallan las distintas medidas a tomar para el presente proyecto.

Tabla VI.VIII.I.I. Medidas de prevención del Programa de Gestión Ambiental.

| Factor afectado | Medida de prevención |
|-------------------------------|---|
| Atmósfera | Cumplir con la normativa vigente aplicable para ruido. |
| | Prevenir la generación y dispersión de polvo, manteniendo la limpieza y humedeciendo zonas secas. |
| | Evitar la generación de olores a través de una correcta gestión de residuos y lodos. |
| Agua | Promover el consumo responsable del agua. |
| | Alentar la reutilización y reducción del consumo de agua. |
| | Contener en bateas aquellos residuos que sean líquidos. |
| Generación de residuos | Realizar una separación e identificación de residuos en origen. |
| | Destinar un área específica para almacenamiento transitorio de los residuos. |
| | Registrar cantidades y tipos de residuos generados. |
| Seguridad y salud ocupacional | Realizar estudio de riesgos para cada puesto de trabajo de la planta de tratamiento de efluentes. |
| | Proveer los EPP necesarios. |
| | Señalizar el tipo de EPP a utilizar en cada área. |
| | Mantener higiene y orden de las instalaciones. |
| | Contar con un programa de seguridad e higiene. |

VI.VIII.II. Programa de monitoreo

El programa tiene como finalidad registrar datos, y así poder generar indicadores que puedan anticipar y/o alertar un posible impacto.

Para confeccionar este programa, se necesitarán mediciones sobre los diferentes parámetros a tratar en la planta, en los puntos que resulte relevante contar con dicha información.

Los datos deben plasmarse luego en reportes y ser comparados con los valores normados vigentes.

Los diferentes tipos de mediciones a realizar son entonces:

- Medición de caudal de ingreso a la planta
- Medición de caudal de vuelco de la planta
- Medición in situ de parámetros tratados (pH, temperatura)
- Medición en laboratorio de parámetros tratados (DBO, DQO, nitrógeno, fósforo)

VI.VIII.III. Programa de mitigación

Las medidas del presente programa son correctivas, para recuperar factores que puedan verse afectados negativamente. Algunas de las medidas del presente programa son:

- Confeccionar un programa de mantenimiento para las instalaciones.
- Contar con un kit para contener derrames en las zonas donde se almacenen productos líquidos.
- Diseñar un plan de emergencia que contemple todo tipo de escenarios.

VI.VIII.IV. Programa de contingencia

El presente plan busca dar respuestas y soluciones frente a posibles incidentes y/o accidentes que puedan ocurrir en la operación de la planta de tratamiento, buscando así restaurar o mitigar los impactos que el evento traiga aparejado.

El plan de contingencia debe incluir:

- Un equipo con tareas asignadas en caso de un accidente o incidente.
- Elementos de protección personal y herramientas apropiadas para actuar ante el evento, que deben encontrarse al alcance del equipo.
- Un sistema de alerta que dé aviso al personal responsable.
- Un programa de simulacros.
- Señalización de áreas seguras para una eventual evacuación del personal.

VI.VIII.V. Programa de capacitación

El programa de capacitación busca formar a los operadores de la planta en temas de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, a fin de prevenir accidentes e incidentes en las instalaciones, y también sobre cómo actuar ante estos, en particular para el equipo ante contingencias.

Para esto se dictarán capacitaciones para cada uno de las actividades a realizar en lo referido a la operación de la planta de tratamiento, y se analizarán cada uno de los riesgos que éstas actividades presentan.

El plan de capacitación debe cumplir cierta regularidad en el dictado de los cursos, con el objetivo de actualizar, reforzar y mejorar los conocimientos sobre riesgos en la operación.

VI.IX. Conclusiones del Estudio de Impacto Ambiental

Debido a lo observado y analizado a lo largo del estudio de impacto ambiental, se concluye que el emplazamiento de la planta de tratamiento es viable ambiental y socioeconómicamente. Esto se puede corroborar ya que a través del estudio se determinó que la instalación de la planta no presenta impactos negativos significativos y/o que no puedan ser mitigados.

A su vez, el proyecto presenta impactos positivos sobre el medio ambiente al disminuir el vuelco de efluentes peligrosos y contaminantes sobre el río Paraná.

Por otro lado, en lo respectivo al medio socioeconómico, también se observan impactos positivos, ya que la instalación de la planta traerá aparejada la generación de puestos de trabajo directos e indirectos, además del beneficio económico para Vita Hnos. S.A. al reducir la cantidad de residuos líquidos enviados a tratar. En cuanto a los impactos negativos al medio social, al emplazar la planta en un parque industrial, estos impactos, como la generación de ruido y olores, resultan poco significativos.

En resumen, habiendo analizado todos los impactos en las diferentes etapas del proyecto, se concluye la viabilidad del proyecto y que los mayores impactos negativos se presentan durante la etapa de construcción, la cual es de un tiempo relativamente acotado.

Capítulo VII

Planos

Los planos para cada una de las unidades que componen la planta de tratamiento proyectada se encuentran en el Anexo X, denominado Planos.

Cabe destacar que no se presentan los planos de los equipos provistos por terceros, como es el caso del puente barredor, los tamices y el espesador de lodos.

Los diez planos presentados son:

- Plano N°01: Sistema de rejas
- Plano N°02: Tanque de ecualización
- Plano N°03: Sedimentador primario
- Plano N°04: Primer reactor anóxico
- Plano N°05: Primer reactor aerobio de lodos activos
- Plano N°06: Segundo reactor anóxico
- Plano N°07: Segundo reactor aerobio de lodos activos
- Plano N°08: Sedimentador secundario
- Plano N°09: Tratamiento terciario, cámara de cloración
- Plano N°10: Vista en planta de la Planta de tratamiento completa
- Plano N°11: Vista lateral de la Planta de tratamiento completa

Capítulo VIII

Conclusiones

VIII.I. Conclusiones finales

Al obtener los datos de la caracterización del efluente, se determinó necesaria la construcción de la planta de tratamiento de efluentes dado que el efluente de producción excede los parámetros establecidos por la normativa vigente (Resolución 336/03) para el vuelco en un cuerpo receptor.

La planta proyectada consta de un pretratamiento de sistema de rejillas y tamices, un tratamiento primario compuesto por un sedimentador primario, un tratamiento secundario de lodos activados con remoción de nitrógeno mediante proceso Bardenpho de 4 etapas: 2 anóxicas y 2 aeróbicas, un tratamiento de remoción de fósforo mediante la adición de sales de aluminio y de desinfección mediante cloración con hipoclorito de sodio. Además, la planta contará con un sistema de tratamiento de barros que consta de un espesador y un filtro prensa.

Para la selección del sistema de remoción de nitrógeno se analizaron las siguientes alternativas:

- Remoción biológica mediante un sistema Bardenpho de 4 etapas
- Remoción biológica mediante zanjas de oxidación

Para la selección del sistema de remoción de fósforo se analizaron las siguientes alternativas:

- Eliminación del fósforo mediante adición química
- Eliminación del fósforo mediante proceso PhoStrip

El sistema entero de la planta fue escogido debido a su alta eficacia, bajos costos de mantenimiento y operación, y por su baja ocupación de espacio. A su vez, se trata de un sistema viable de construir desde el punto de vista civil, económico y técnico.

Como se describió en los capítulos anteriores, se obtuvo como resultado del análisis que el tratamiento por metro cúbico de efluente a través del emplazamiento de la planta de tratamiento se reduce a 0,49 USD, en comparación al valor actual de tratamiento que es de 1,15 USD por metro cúbico de efluente.

En lo que respecta a la evaluación de impactos, se establece que el proyecto es viable y cumple con lo requerido por la Leyes N° 25.675 y 11.723, por esto y lo expuesto anteriormente se concluye que el proyecto en su totalidad es ambiental, económica y técnicamente viable.

VIII.II. Conclusión personal

La realización del proyecto significó para mí el mayor desafío académico con el que me tope hasta la actualidad, donde pude desarrollar, aplicar e investigar más en profundidad diferentes conceptos, conocimientos y herramientas aprendidas durante el cursado de las materias del plan de estudios.

La elaboración del informe me permitió fortalecer mis criterios de selección y diseño, y mi redacción técnica, por lo que considero que se trata de una etapa fundamental para mi formación como futuro ingeniero.

Por último, me encuentro completamente agradecido y me siento afortunado por haber podido estudiar una carrera de grado en una universidad pública de excelente calidad, tanto personal como académica, como lo es la UNSAM. A lo largo de estos años mi interés por la carrera siempre se fue afianzando y gracias a las diferentes herramientas provistas por la Universidad y por los distintos profesionales que me han dado clase, crecí en gran medida tanto profesional como personalmente.

Sin duda alguna encontré en la UNSAM no solo una Universidad, sino un lugar que me acogió, una segunda casa dado la gran cantidad de horas que allí pasé y al cual le estaré agradecido por mucho tiempo, y que sin duda alguna voy a extrañar.

Bibliografía

- [1] de Cárcamo, M., 2017. *La Contaminación Por Nutrientes: Nitrógeno Y Fósforo*. [online] Fusades.
- [2] San Nicolás de los Arroyos. (2020). Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/San_Nicol%C3%A1s_de_los_Arroyos
- [3] Artículo recuperado el 17/05/2020 de: <https://www.fundacionaquae.org/rio-parana/>
- [4] Artículo recuperado el 17/05/2020 de: https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Tiet%C3%A9
- [5] Artículo recuperado el 17/05/2020 de: https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Iguaz%C3%BA
- [6] Artículo recuperado el 17/05/2020 de: https://www.ecured.cu/R%C3%ADo_Paraguay
- [7] Artículo recuperado el 17/05/2020 de: <https://www.fundacionaquae.org/rio-salado-norte-de-argentina/>
- [8] Río Paraná. (2020). Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Paran%C3%A1
- [9] Solana Pita, M. (2002). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria de conservas de pescado y marisco. *Gestión Ambiental*, 4(48), pp.12-21.
- [10] Méndez Paz, D., Torres Ayaso, A. y Vieites Baptista de Sousa, J. (2006). Caracterización de los efluentes de cocción de atún generados en las industrias conserveras de productos marinos. *Tecnología del agua*, 26(279), pp.42-47.
- [11] Autoridad del Agua, "Resolución N°336/2003," 2003.
- [12] Tamiz rotativo, recuperado el 15/09/2020 de: <https://tratamientodeaguas.com.co/servicio/tamiz-rotativo/>
- [13] Tchobanoglous, G. y Burton, F., 1995. *Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización*. 3rd ed. Madrid: Antonio Garcia Brage.
- [14] Rojas Suazo, H., 2012. El Sistema de Zanjias de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México. Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [15] Alonso Paredes Paredes, B. y Garrido Jara, R. (2019) *Eliminación de compuestos nitrogenados en aguas residuales mediante nitrificación y desnitrificación*. [Trabajo de titulación, Universidad Técnica Federico Santa María].
- [16] Guías y criterios técnicos para el diseño y ejecución de redes externas de cloaca, recuperado el 26/08/2021 de: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aysa.pdf>

- [17] Difusores Repicky CB-300. Recuperado de:
<https://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>
- [18] Sopladores Repicky R1.5 y R100. Recuperado de:
<https://repicky.com.ar/site/sopladores-rotativos-y-bombas-de-vacio-serie-ra/>
- [19] Difusores Repicky RG-300. Recuperado de:
<https://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>
- [20] Barredores ZXN4 y ZXN6. Recuperado de:
<http://www.jorsun.com/ZXNSludgeThickener--pds71.html>
- [21] Bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2.50B. Recuperado de:
<https://product-selection.grundfos.com/ar/products/sl/slv/slv656515eex250b-96878504?productid=1392033560&tab=variant-specifications>
- [22] Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B. Recuperado de:
<https://product-selection.grundfos.com/ar/products/seg/seg4009ex250b-96075898?tab=variant-specifications>
- [23] Bomba Eddy Pump HD1K. Recuperado de:
<https://eddyump.com/pdf/specs/hd1000-1-inch-pump-specs-v1.1.pdf>
- [24] Instituto Municipal de Investigación y Planeamiento Urbano de San Nicolás de los Arroyos, 2005. Descripción Ambiental de San Nicolás. San Nicolás de los Arroyos.
- [25] Tamiz rotativo TR 40/50. Recuperado de: <https://toroequipment.com/es/screens/>
- [26] Plan estratégico San Nicolás. Recuperado de:
<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/BUENOSAIRES/Plan-Estrategico-de-San-Nicolas.pdf>
- [27] Espesador de lodos Wanda Machinery LW250. Recuperado de:
<https://www.wandamech.com/products/decantercentrifuge-lw3501600/>
- [28] Bomba dosificadora de cloro Dosivac 015. Recuperado de:
<https://www.dosivac.com/wp-content/uploads/2017/11/Manual-MILENIO.pdf>
- [29] Hervas Martinez, C. (2003) *Estación Depuradora de Aguas Residuales Los Montesinos*. [Tesis de titulación, Universidad de Alicante]. <https://sirio.ua.es/proyectos/proyecto1/>
- [30] Cruz Campos, M. (2008) *Ingeniería Básica de la Planta de Tratamiento de Efluentes Procedentes de Industria de Envasado de Aceitunas*. [Tesis de titulación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4560/>

[31] Punmia, B., & Jain, A. (1996). Wastewater Engineering (including air pollution) (5th ed., pp. 448-456). New Delhi: Laxmi Publications.

[32] Mara, D. (2004). Domestic wastewater treatment in developing countries (1st ed.). New York: Earthscan.

[33] Wang, L., Pereira, N., & Hung, Y. (2022). Biological treatment processes (1st ed.). New Jersey: Humana Press.

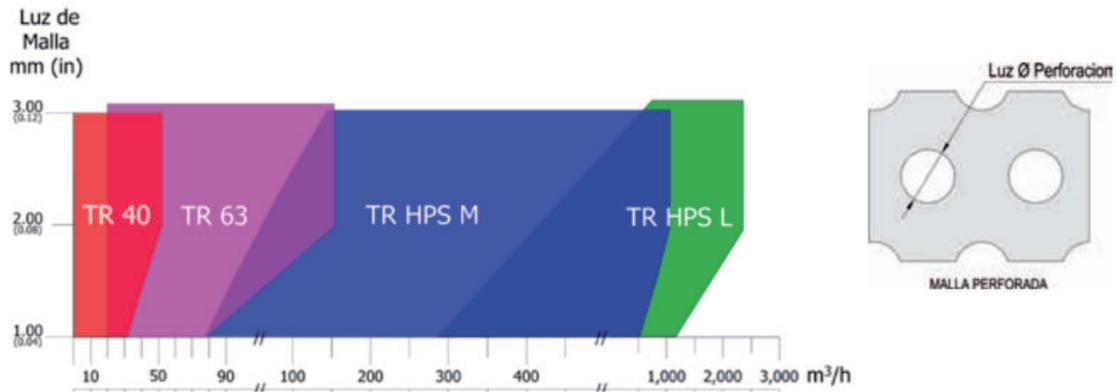
[34] Recuperado de: <http://www.novarsa.com/esp/productos.php?id=3>

Anexos

Anexo I - Tamiz rotativo TR 40/50

Ficha técnica para el tamiz rotativo TR 40/50 de la marca Toro equipment.

Tamices Malla Perforada:



| Gama 40 - Especificaciones Técnicas, mm (in) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------|----------|-----------------|
| Modelo | Diámetro Tambor | Longitud Tambor | Potencia Kw / HP | A | B | C | Salida | | Rebose | | Entrada | | Limpieza | |
| | | | | | | | D1 | H1 | D2 | H2 | D3 | H3 | D4 | H4 |
| TR 40/25 | 400 (15 3/4) | 250 (9 7/8) | 0.25 (0.33) | 600 (23 5/8) | 1,025 (40 3/8) | 1,087 (42 3/4) | DN 100 ANSI 4" | 209 (8 1/8) | DN 100 ANSI 4" | 801 (31 1/2) | DN 100 ANSI 4" | 507 (20) | 1/2" | 678 (26 3/4) |
| TR 40/50 | 400 (15 3/4) | 500 (19 5/8) | 0.25 (0.33) | 850 (33 1/2) | 1,025 (40 3/8) | 1,087 (42 3/4) | DN 150 ANSI 6" | 234 (9 1/8) | DN 100 ANSI 4" | 801 (31 1/2) | DN 100 ANSI 4" | 507 (20) | 1/2" | 678 (26 3/4) |
| TR 40/75 | 400 (15 3/4) | 750 (29 1/2) | 0.25 (0.33) | 1,100 (43 1/4) | 1,025 (40 3/8) | 1,087 (42 3/4) | DN 200 ANSI 8" | Inferior | DN 100 ANSI 4" | 801 (31 1/2) | DN 150 ANSI 6" | 532 (21) | 1/2" | 678 (26 3/4) |

| Gama 40 - Caudales Máximos Agua Limpia, m³/h (US gpm) | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|
| Modelo | Luz de Malla | Malla de Rejilla ▼▼, mm (in) | | | | | Malla Perforada Ø, mm (in) | |
| | | 0.15 (0.006) | 0.25 (0.01) | 0.50 (0.02) | 0.75 (0.03) | 1.00 (0.04) | 2.00 (0.08) | 2.00 (0.08) |
| TR 40/25 | 7 (30) | 11 (47) | 19 (83) | 25 (110) | 30 (132) | 30 (132) | 17 (74) | 17 (74) |
| TR 40/50 | 14 (61) | 21 (94) | 36 (165) | 50 (220) | 60 (264) | 60 (264) | 35 (153) | 35 (153) |
| TR 40/75 | 21 (91) | 32 (141) | 56 (248) | 75 (331) | 90 (397) | 90 (397) | 52 (231) | 52 (231) |

Anexo II - Difusores CB-300

Ficha técnica para los difusores de burbuja gruesa marca Repicky, modelo CB-300 ^[17].

| Difusor de burbuja gruesa CB-300 | |
|---|--|
| Rango de caudal: | 3 a 25 Nm ³ /hora |
| Caudal de diseño: | 10 Nm ³ /hora |
| Pérdida de carga: | 20 mbar para 3 Nm ³ /hora 40 mbar para 10 Nm ³ /hora 70 mbar para 25 Nm ³ /hora |
| Densidad: | 0,5 a 3 difusores/m ² |
| SOTE: | 5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m ³ /h de aire y por m de profundidad. |
| Eficiencia de transferencia de O ₂ : | 0,8 – 2 Kg. O ₂ /Kwh |



Anexo III - Sopladores R1.5 y R100

Ficha técnica para los sopladores marca Repicky, modelos R1.5 y R100 ^[18].

Tabla de Selección de Sopladores trabajando como Compresor

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de aspiración como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a presión atmosférica normal P= 1013 mbar y temperatura de admisión del aire T = 20°C. Para otros gases y/o condiciones operativas, consultar.



| Modelo | RPM | 100 | | 200 | | 300 | | 400 | | 500 | | 600 | | 700 | | 800 | | 900 | | 1000 | |
|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | | Q m³/h | P HP |
| R100 | 1450 | 29.6 | 0.4 | 23.1 | 0.5 | 18 | 0.7 | 13.7 | 0.9 | | | | | | | | | | | | |
| | 2250 | 54 | 0.6 | 47.5 | 0.8 | 42.2 | 1.1 | 38.1 | 1.4 | 34.3 | 1.6 | 30.8 | 1.8 | | | | | | | | |
| | 2900 | 74 | 0.7 | 67.3 | 1.1 | 62.2 | 1.4 | 57.9 | 1.6 | 54.1 | 2.0 | 50.6 | 2.3 | 47.4 | 2.7 | | | | | | |
| R200 | 1450 | 63 | 0.6 | 52 | 0.9 | 43.3 | 1.3 | 35.9 | 1.6 | | | | | | | | | | | | |
| | 2250 | 112 | 0.9 | 101 | 1.4 | 92.1 | 1.9 | 84.6 | 2.4 | 78.1 | 2.9 | 72.1 | 3.4 | | | | | | | | |
| | 2900 | 152 | 1.2 | 140 | 1.8 | 132 | 2.4 | 124 | 3.1 | 118 | 3.8 | 112 | 4.5 | 106 | 5.1 | 101 | 5.7 | | | | |
| R300 | 1450 | 89 | 0.6 | 80 | 1.1 | 65 | 1.5 | 56 | 1.9 | 48 | 2.4 | | | | | | | | | | |
| | 2250 | 156 | 0.9 | 142 | 1.6 | 131 | 2.3 | 122 | 3.0 | 114 | 3.7 | 107 | 4.4 | 100 | 5.0 | | | | | | |
| | 2900 | 210 | 1.2 | 196 | 2.0 | 185 | 3.0 | 176 | 3.9 | 168 | 4.8 | 161 | 5.6 | 154 | 6.5 | 148 | 7.5 | | | | |
| R500 | 1450 | 142 | 1.8 | 132 | 3.2 | 118 | 4.7 | 107 | 6.0 | 91 | 7.4 | 74 | 8.7 | 62 | 10.2 | 50 | 11.5 | | | | |
| | 2250 | 241 | 1.0 | 225 | 1.6 | 211 | 2.3 | 200 | 3.0 | 190 | 3.6 | 181 | 4.3 | 173 | 4.9 | | | | | | |
| | 2900 | 322 | 1.9 | 306 | 3.3 | 292 | 4.6 | 281 | 5.9 | 271 | 7.3 | 262 | 8.6 | 254 | 10.0 | 246 | 11.3 | | | | |
| R600 | 1450 | 521 | 3.0 | 504 | 5.0 | 491 | 7.1 | 480 | 9.2 | 470 | 11.3 | 461 | 13.4 | 452 | 15.4 | 444 | 17.6 | 437 | 19.6 | | |
| | 2250 | 185 | 1.2 | 158 | 2.1 | 138 | 3.0 | 120 | 3.9 | 105 | 4.9 | 89 | 5.8 | 75 | 6.9 | 64 | 8.1 | | | | |
| | 2900 | 319 | 1.8 | 293 | 3.3 | 272 | 4.7 | 255 | 6.1 | 239 | 7.5 | 225 | 8.9 | 212 | 10.3 | 200 | 11.7 | | | | |
| R1000 | 1450 | 429 | 2.4 | 402 | 4.2 | 382 | 6.0 | 364 | 7.9 | 349 | 9.7 | 335 | 11.4 | 321 | 13.3 | 309 | 15.1 | | | | |
| | 2250 | 698 | 3.7 | 692 | 6.5 | 651 | 9.3 | 634 | 12.1 | 618 | 14.9 | 604 | 17.8 | 591 | 20.7 | | | | | | |
| | 2900 | 974 | 5.9 | 953 | 9.8 | 936 | 13.6 | 922 | 17.4 | 910 | 21.1 | 898 | 24.9 | 888 | 28.7 | 878 | 32.6 | 868 | 36.4 | | |
| R1200 | 1450 | 297 | 2.0 | 275 | 3.3 | 259 | 4.6 | 245 | 5.8 | 232 | 7.2 | 221 | 8.4 | 210 | 9.7 | | | | | | |
| | 2250 | 487 | 3.1 | 466 | 5.1 | 449 | 7.1 | 435 | 9.1 | 422 | 11.1 | 411 | 13.1 | 400 | 15.0 | 390 | 17.1 | 381 | 19.0 | | |
| | 2900 | 641 | 4.0 | 620 | 6.6 | 603 | 9.1 | 589 | 11.7 | 577 | 14.3 | 565 | 16.8 | 555 | 19.4 | 545 | 21.9 | 535 | 24.5 | 527 | 27.1 |
| R1.5 | 1450 | 974 | 5.9 | 953 | 9.8 | 936 | 13.6 | 922 | 17.4 | 910 | 21.1 | 898 | 24.9 | 888 | 28.7 | 878 | 32.6 | 868 | 36.4 | | |
| | 2250 | 1450 | 8.0 | 1395 | 13.1 | 1362 | 18.1 | 1333 | 23.2 | 1308 | 28.3 | 1285 | 33.4 | 1264 | 38.4 | 1244 | 43.6 | 1225 | 48.6 | 1207 | 53.7 |
| | 2900 | 1881 | 10.3 | 1838 | 17.6 | 1805 | 24.9 | 1776 | 32.3 | 1751 | 39.7 | 1728 | 46.9 | 1707 | 54.3 | 1688 | 61.7 | | | | |
| R2.0 | 1450 | 1523 | 9.5 | 1489 | 15.3 | 1461 | 21.2 | 1438 | 27.3 | 1371 | 31.2 | 1352 | 37.9 | 1335 | 43.7 | 1319 | 49.6 | 1304 | 55.3 | 1290 | 61.1 |
| | 2250 | 2222 | 12.0 | 2179 | 20.7 | 2146 | 29.3 | 2117 | 37.8 | 2126 | 47.1 | 2069 | 55.1 | 2048 | 63.7 | | | | | | |
| | 2900 | 2665 | 15.0 | 2609 | 26.7 | 2565 | 38.4 | 2528 | 50.2 | 2495 | 61.9 | 2465 | 73.7 | | | | | | | | |
| R2.5 | 1450 | 3147 | 17.5 | 3090 | 31.3 | 3046 | 45.2 | 3009 | 58.9 | 2976 | 72.5 | | | | | | | | | | |

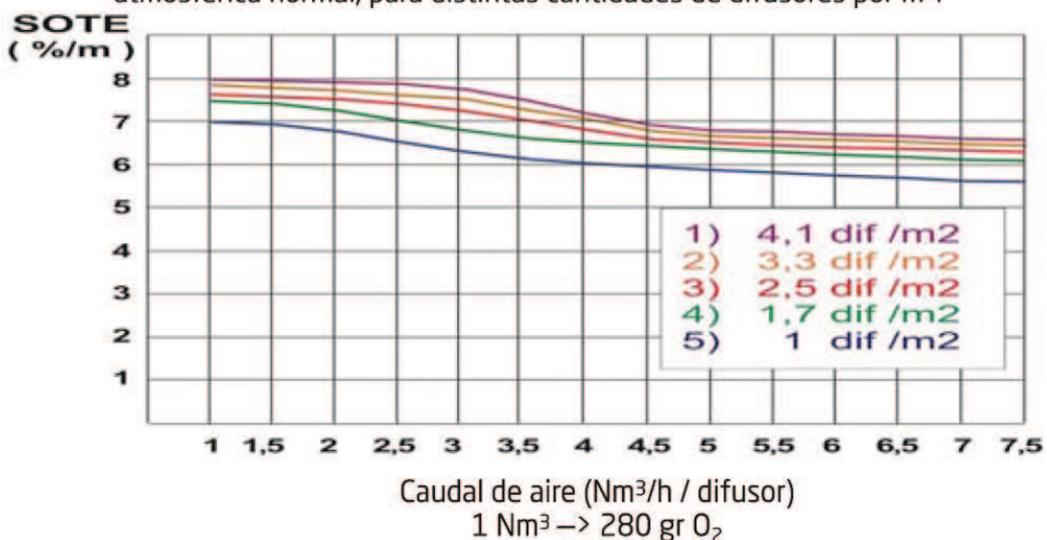
Anexo IV - Difusores RG-300

Ficha técnica para los difusores de burbuja fina marca Repicky, modelo RG-300 ^[19].

| Difusor de burbuja fina RG-300 | |
|---|--|
| Rango de caudal: | 2 a 8 Nm ³ /hora |
| Caudal de diseño: | 5 Nm ³ /hora |
| Pérdida de carga: | 20 mbar para 2 Nm ³ /hora 40 mbar para 5 Nm ³ /hora 70 mbar para 8 Nm ³ /hora |
| Densidad: | 1 a 6 difusores/m ² |
| SOTE: | 15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m ³ /h de aire y por m de profundidad. |
| Eficiencia de transferencia de O ₂ : | 2,5 – 6 Kg. O ₂ /KWh |



Transferencia de O₂ para el modelo **RG-300** por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor [m³/h] a 20 °C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m².



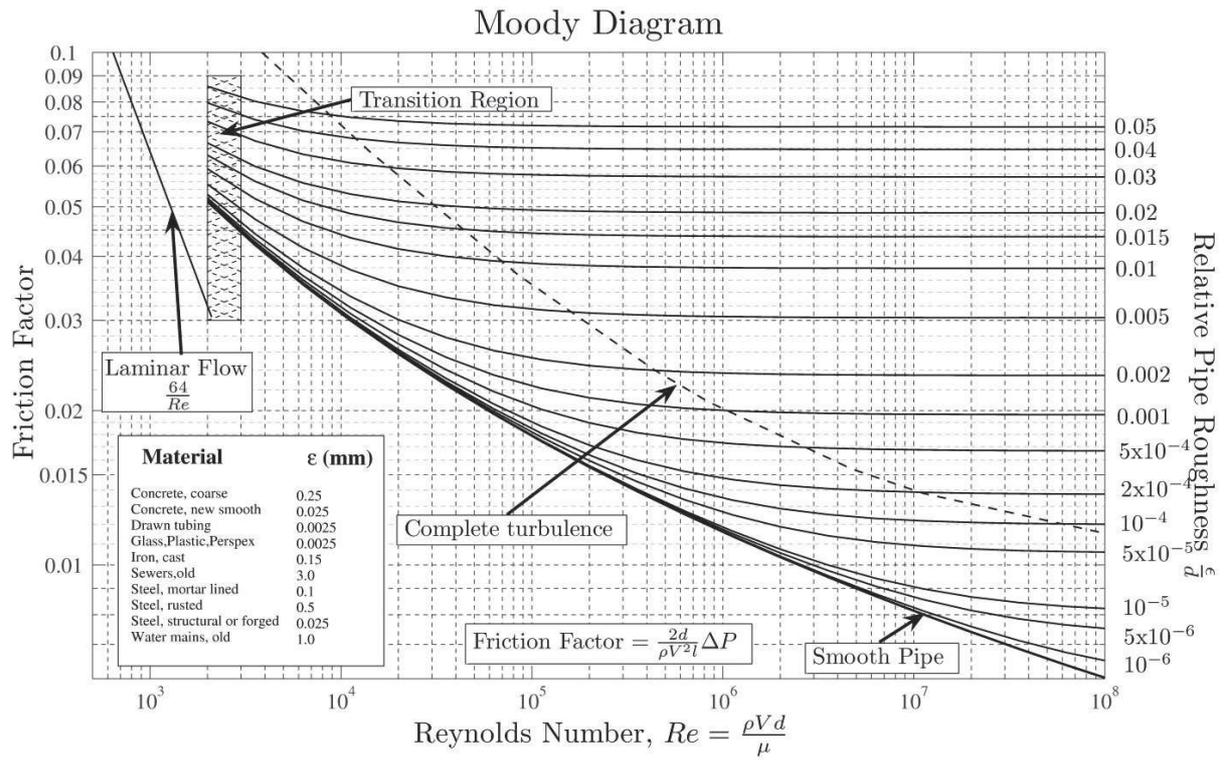
Anexo V - Barredores ZXN4 y ZXN6

Ficha técnica para los barredores marca Jorsun, modelos ZXN4 y ZXN6 ^[20].

| Model | Clarifier diameter D | Clarifier depth H | Peripheral speed | Drive speed | Flow tube diameter | Standard torque | Reducer type | |
|-------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|-------|
| | (m) | (m) | m/min | (KW) | (m) | N.m | | |
| ZXN3 | 3 | 2.5 ~ 3.5 | 2.1 | 0.18/0.55 (TECO/ABB) | 0.5 | 370 | Direct cycloid | |
| ZXN4 | 4 | 2.8 ~ 4.0 | 2.4 | | 0.6 | 600 | | |
| ZXN5 | 5 | 2.8 ~ 4.0 | 2.3 | | 0.7 | 1100 | | |
| ZXN6 | 6 | 2.8 ~ 4.0 | 2.2 | 0.25/0.55 (TECO/ABB) | 0.8 | 1500 | | |
| ZXN7 | 7 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | | 1.0 | 2000 | | |
| ZXN8 | 8 | 3.0 ~ 4.0 | 1.8 | | 1.1 | 2640 | | |
| ZXN9 | 9 | 3.0 ~ 4.0 | 1.8 | | 1.2 | 3200 | | |
| ZXN10 | 10 | 3.0 ~ 4.0 | 1.6 | 0.55/0.55 (TECO/ABB) | 1.4 | 4000 | | |
| ZXN11 | 11 | 3.0 ~ 4.0 | 1.6 | | 1.5 | 4800 | | |
| ZXN12 | 12 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | | 1.7 | 5750 | | |
| ZXN13 | 13 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | | 1.8 | 6800 | | |
| ZXN14 | 14 | 3.0 ~ 4.0 | 1.6 | 0.75/0.75 (TECO/ABB) | 1.9 | 7900 | | |
| ZXN15 | 15 | 3.0 ~ 4.0 | 1.8 | | 2.1 | 9100 | | |
| ZXN16 | 16 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | | 2.2 | 10300 | | |
| ZXN17 | 17 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | | 2.4 | 11700 | | |
| ZXN18 | 18 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | 0.75/0.75 (TECO/ABB) | 2.5 | 13000 | | |
| ZXN19 | 19 | 3.0 ~ 4.0 | 1.6 | | 2.6 | 14600 | | |
| ZXN20 | 20 | 3.0 ~ 4.0 | 1.7 | | 0.75/0.75 (TECO/ABB) | 2.8 | | 16200 |
| | | | | | | | | |

Anexo VI - Diagrama de Moody

Diagrama de Moody utilizado para obtener los valores del Fanning, utilizados para los cálculos de las pérdidas de carga.



Anexo VII - Equipos del sistema de bombeo

VII.I Bomba Grundfos SLV.65.65.15.E.EX.2.50B ^[21]

Ficha técnica de la bomba seleccionada para impulsar el efluente proveniente del tanque de equalización hacia el sedimentador primario.

| Especificaciones | | | |
|---|------------------------------|---|-------------------------|
| Producto | SLV.65.65.15.E.EX.2.50B | Líquido | |
| Código | 96878504 | Maximum liquid temperature | 40 °C |
| Número EAN | 5700312550853 | Densidad | 998.2 kg/m ³ |
| Técnico | | Datos eléctricos | |
| Caudal real calculado | 25.57 m ³ /h | Potencia de entrada - P1 | 2.2 kW |
| Maximum flow | 45 m ³ /h | Potencia nominal - P2 | 1.5 kW |
| Caudal máx. | 45 m ³ /h | Frecuencia de red | 50 Hz |
| Altura resultante de la bomba | 4.57 m | Tensión nominal | 3 x 400-415 V |
| Altura máx. | 10.6 m | Toler. tensión | +6/-10 % |
| Tipo de impulsor | SUPERVORTEX | Arranques máx. por hora | 30 |
| Diámetro máximo de las partículas | 65 mm | Intensidad nominal | 3.8-3.8 A |
| Cierre primario | SIC/SIC | Intensidad nominal con una carga de 3/4 | 3 A |
| Homologaciones en la placa de características | CE 0344 | Intensidad nominal con una carga de 1/2 | 2.4 A |
| Tolerancia de curva | ISO9906:2012 3B2 | Tensión solicitada | 400 V |
| Camisa de refrigeración | N | Intensidad nominal con esta tensión | 3.8 A |
| Materiales | | Intensidad de arranque | 21 A |
| Carcasa de la bomba | Hierro fundido EN-JL-1030 | Intensidad nominal sin carga | 1.9 A |
| Impulsor | Fundición EN-GJS-400-15 | Cos phi - Factor de potencia | 0.88 |
| Motor | EN-GJL-200 | Cos phi - Factor de potencia a 3/4 de carga | 0.81 |
| Instalación | | Cos phi - Factor de potencia a 1/2 de carga | 0.71 |
| Maximum ambient temperature | 40 °C | Velocidad nominal | 2720 rpm |
| Normativa de brida | DIN | Eficiencia del motor a carga total | 67 % |
| Salida de bomba | 65 | Eficiencia del motor a una carga de 3/4 | 68 % |
| Presión nominal | PN 10 | Eficiencia del motor a una carga de 1/2 | 63 % |
| Profundidad máxima de instalación | 10 m | Número de polos | 2 |
| Inst. en seco/húmeda | SUBMERGED | Tipo de arranque | directo |
| Autoacoplamiento | 96090992 | Grado de protección (IEC 34-5) | IP68 |
| Alcance de la estructura | A | Clase de aislamiento (IEC 85) | F |
| | | Resistente a explosiones | Sí |
| | | Protección de motor integrada | INTERRUPTOR TÉRMICO |
| | | Longitud de cable | 10 m |
| | | Tipo de cable | LYNIFLEX |

VII.II Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B ^[22]

Ficha técnica de la bomba seleccionada para impulsar el efluente desde el primer reactor aerobio del sistema de lodos activos hacia el primer reactor anóxico.

Especificaciones

| | | | |
|---|-------------------------------------|---|--------------------------|
| Producto | SEG.40.09.EX.2.50B | Líquido | |
| Código | 96075898 | Rango de temperatura del líquido | 0 .. 40 °C |
| Número EAN | 5700394850704 | Densidad | 998.2 kg/m ³ |
| Técnico | | Datos eléctricos | |
| Caudal real calculado | 14.52 m ³ /h | Potencia de entrada - P1 | 1.3 kW |
| Maximum flow | 16 m ³ /h | Potencia nominal - P2 | 0.9 kW |
| Caudal máx. | 16 m ³ /h | Frecuencia de red | 50 Hz |
| Altura resultante de la bomba | 3.002 m | Tensión nominal | 3 x 400-415 V |
| Altura máx. | 14.4 m | Toler. tensión | +6/-10 % |
| Tipo de impulsor | SIST TRITURADOR | Arranques máx. por hora | 30 |
| Cierre primario | SIC/SIC | Intensidad nominal | 3 A |
| Homologaciones en la placa de características | PA-I, ATEX | Intensidad de arranque | 21 A |
| Tolerancia de curva | ISO9906:2012 3B2 | Intensidad nominal sin carga | 2.1 A |
| Materiales | | Cos phi - Factor de potencia | 0.72 |
| Carcasa de la bomba | Hierro fundido EN1561 EN-GJL-200 | Cos phi - Factor de potencia a 3/4 de carga | 0.62 |
| | | Cos phi - Factor de potencia a 1/2 de carga | 0.5 |
| Impulsor | Fundición EN1561 EN-GJL-200 | Velocidad nominal | 2860 rpm |
| Instalación | | Momento de inercia | 0.0036 kg m ² |
| | | Eficiencia del motor a carga total | 71 % |
| Maximum ambient temperature | 40 °C | Eficiencia del motor a una carga de 3/4 | 67 % |
| Presión de trabajo máxima | 6 bar | Eficiencia del motor a una carga de 1/2 | 60 % |
| Normativa de brida | DIN | Número de polos | 2 |
| Conexión de la red de tuberías | DN 40/50 | Tipo de arranque | directo |
| Salida de bomba | DN 40 | Grado de protección (IEC 34-5) | IP68 |
| Presión nominal | PN 10 | Clase de aislamiento (IEC 85) | F |
| Profundidad máxima de instalación | 10 m | Resistente a explosiones | Sí |
| Inst. en seco/húmeda | SUBMERGED | Descripción ex. | I12G EXDB I1BT4/T3GB |
| Autoacoplamiento | 96076063 | Normativa de clasificación antideflagrante | EN 60079-0/EN 60079-1 |
| | | Protección de motor integrada | INTERRUPTOR TÉRMICO |
| | | Protec. térmica | exterior |
| | | Longitud de cable | 10 m |
| | | Tipo de cable | LYNIFLEX |
| | | Tipo de clavija de cable | NO PLUG |

VII.III Bomba Eddy Pump HD1K ^[23]

Ficha técnica de la bomba seleccionada para impulsar el efluente desde el sedimentador secundario hacia el primer reactor aerobio del sistema de lodos activos y para realizar la purga de lodos desde el sedimentador secundario.

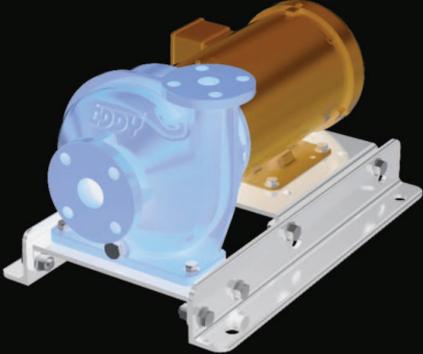




Heavy Duty Slurry Pump – 1-Inch

| MODEL # | |
|---------|--|
| HD1K | |

| OPERATING LEVELS | |
|------------------|--------------------------|
| MIN FLOW | 1 GPM |
| MAX FLOW | 200 GPM |
| HEAD RANGE | Up to 170 ft |
| DISCHARGE SIZE | 1 inch |
| SUCTION SIZE | 1.5 inch |
| SOLIDS HANDLING | Solids up to 0.75 inches |
| MOTOR SPEED | 1800 RPM, 3600 RPM |
| PERCENT SOLIDS | Up to 40-70% Solids |



*Typical Deployment Photo. Dredge pumps can be deployed vertically or horizontally. Photos for general guidance. Contact us for further details.

| PARTS | STANDARD MATERIALS |
|-----------------|---|
| ROTOR | High Chrome 28%, Ductile Iron, Stainless Steel, Duplex Stainless - Various sizes and custom metals available. |
| VOLUTE CASING | High Chrome 28%, Ductile Iron, Stainless Steel, Duplex Stainless - Custom metals available. |
| SHAFT SLEEVE | Stainless Steel |
| MECHANICAL SEAL | Tungsten or Silicon Carbide Mechanical Seal with Self Contained Seal Support System |
| MOTOR MOUNT | Ductile Iron or Stainless Steel |

Anexo VIII - Ficha técnica espesador de lodos Wanda LW250

Ficha técnica para el espesador de lodos marca Wanda Machinery, modelo LW250^[27].

| Model | Drum diameter (mm) | Drum max speed (r/min) | Max separation factor | Capacity (m ³ /h) | Differential speed | Main motor power (kw) | Vice motor power (kw) | Weight (kg) | Dimension (l*w*h) |
|-------|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| LW250 | Φ250*963 | 4800 | 3226 | 2-5 | 20 | 7.5 | 4 | 1000 | 1800*1100*700 |

Anexo IX - Ficha técnica bomba dosificadora Dosivac 015

Ficha técnica para la bomba dosificadora de cloro marca Dosivac, 015^[28].

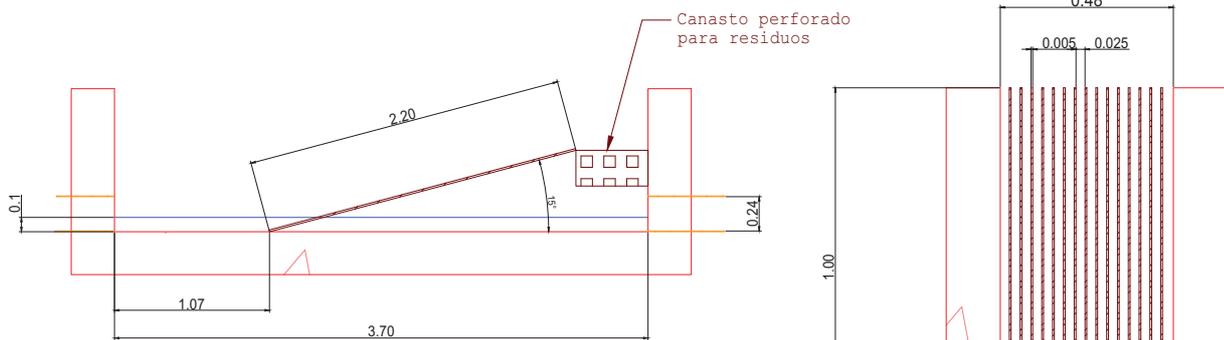
3. ESPECIFICACIONES TECNICAS

| ESPECIFICACIONES TECNICAS | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|-------|----------------|------|----------------|--------------|--------------|------|--------------|
| MODELO | CAUDAL MAXIMO | | PRESION MAXIMA | | MOTOR REDUCTOR | | EMBOCADAS | | PESO [Kg] |
| | 50 Hz [l/h] | 60 Hz | 50Hz [bar] | 60Hz | CONSUMO [A] | POTENCIA [W] | 50Hz [l/min] | 60Hz | |
| 015 | 1,45 | 1,8 | 10 | 145 | 0,38 | 40 | 30 | 36 | 3,4 |
| 033 | 3,3 | 4,2 | 5 | 72 | 0,38 | 40 | 72 | 86 | 3,4 |
| 035 | 3,5 | 4,8 | 10 | 147 | 0,38 | 40 | 72 | 86 | 3,4 |
| 070 | 7 | 8,8 | 7 | 100 | 0,38 | 40 | 144 | 173 | 3,4 |
| 130 | 13 | 16,0 | 4 | 58 | 0,38 | 40 | 144 | 173 | 3,4 |
| 300 | 30 | 36,0 | 1,5 | 21 | 0,38 | 40 | 144 | 173 | 3,4 |

3.1 CONEXIONES

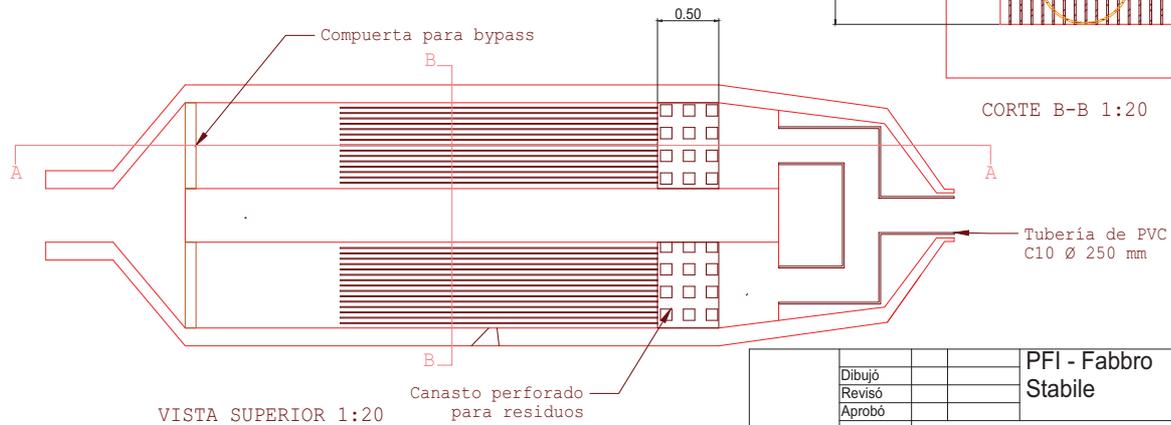
| CONEXION | MODELOS | |
|-----------|--|---|
| | 015-033-035-070-130 | 300 |
| SUCCION | - p/manguera 6 x 9 mm vertical inferior | - p/manguera 9,5 x 12,5 mm vertical inferior |
| INYECCION | - p/manguera 6 x 9 mm vertical superior | - p/manguera 9,5 x 12,5 mm vertical superior |
| PURGA | - p/manguera 6 x 9 mm | - p/manguera 6 x 9 mm |

Anexo X - Planos



CORTE A-A 1:25

CORTE B-B 1:20



VISTA SUPERIOR 1:20

Canasto perforado para residuos

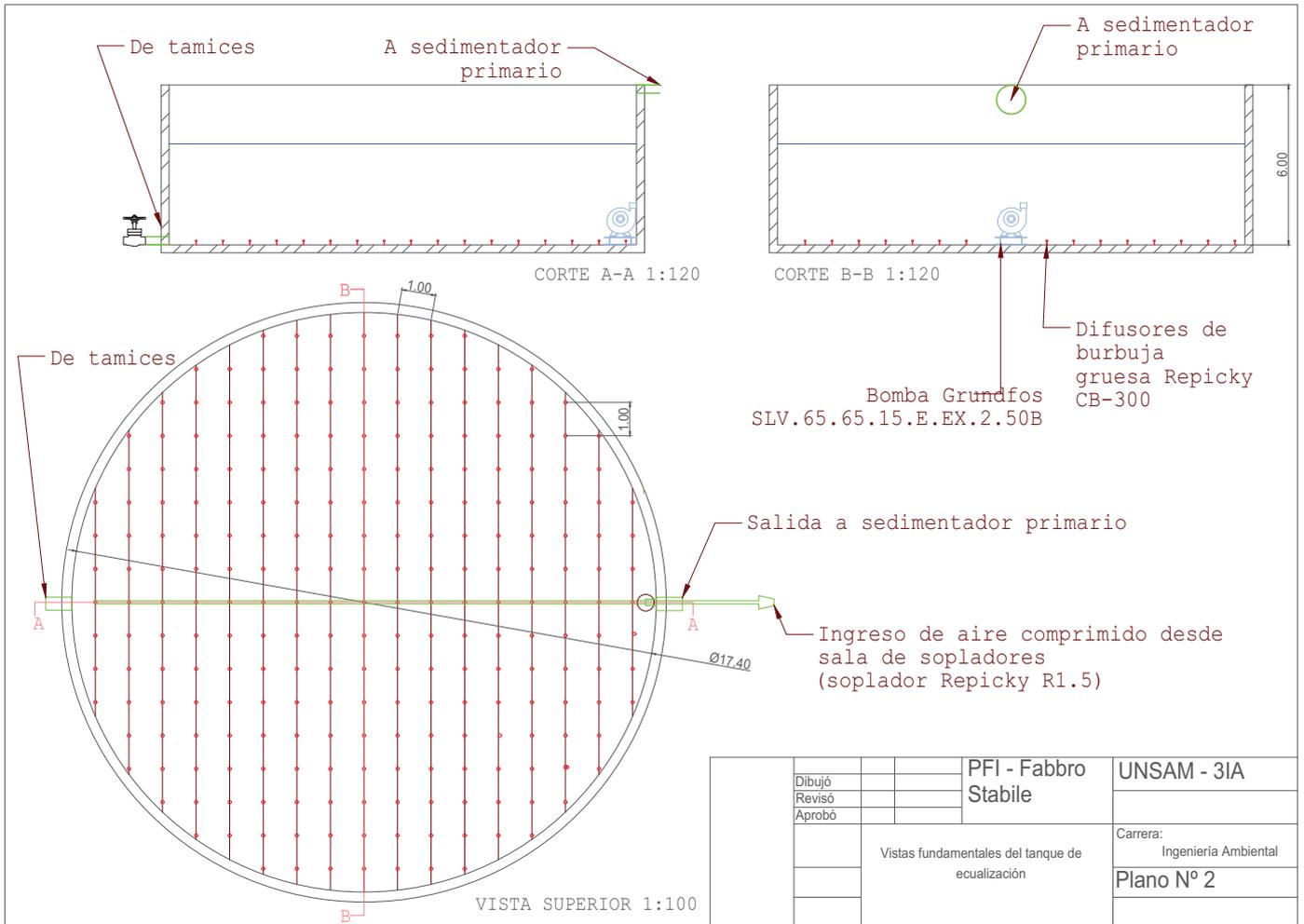
PFI - Fabbro
Stabile

UNSAM - 3IA

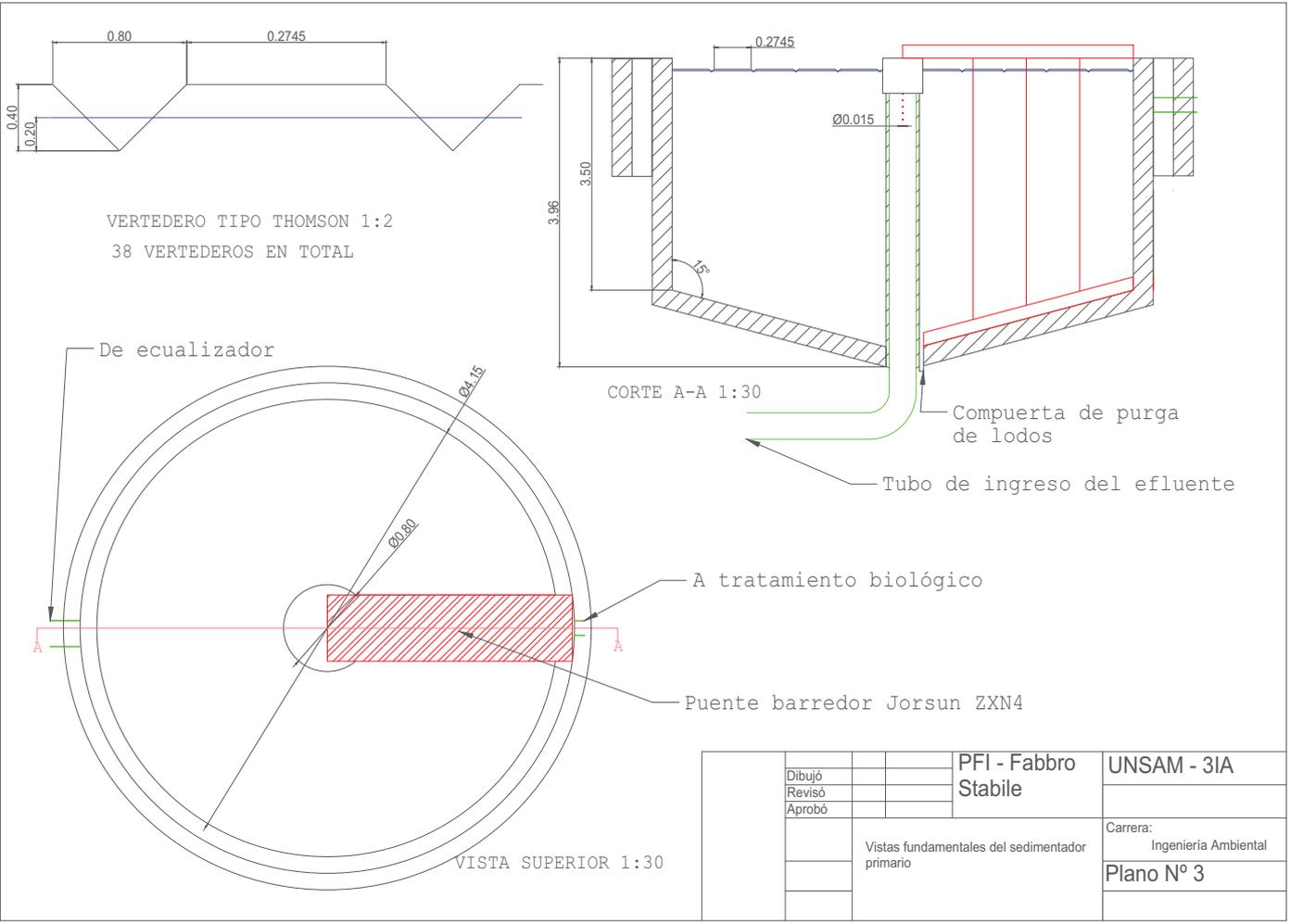
Dibujó
Revisó
Aprobó

Vistas fundamentales del sistema de rejas

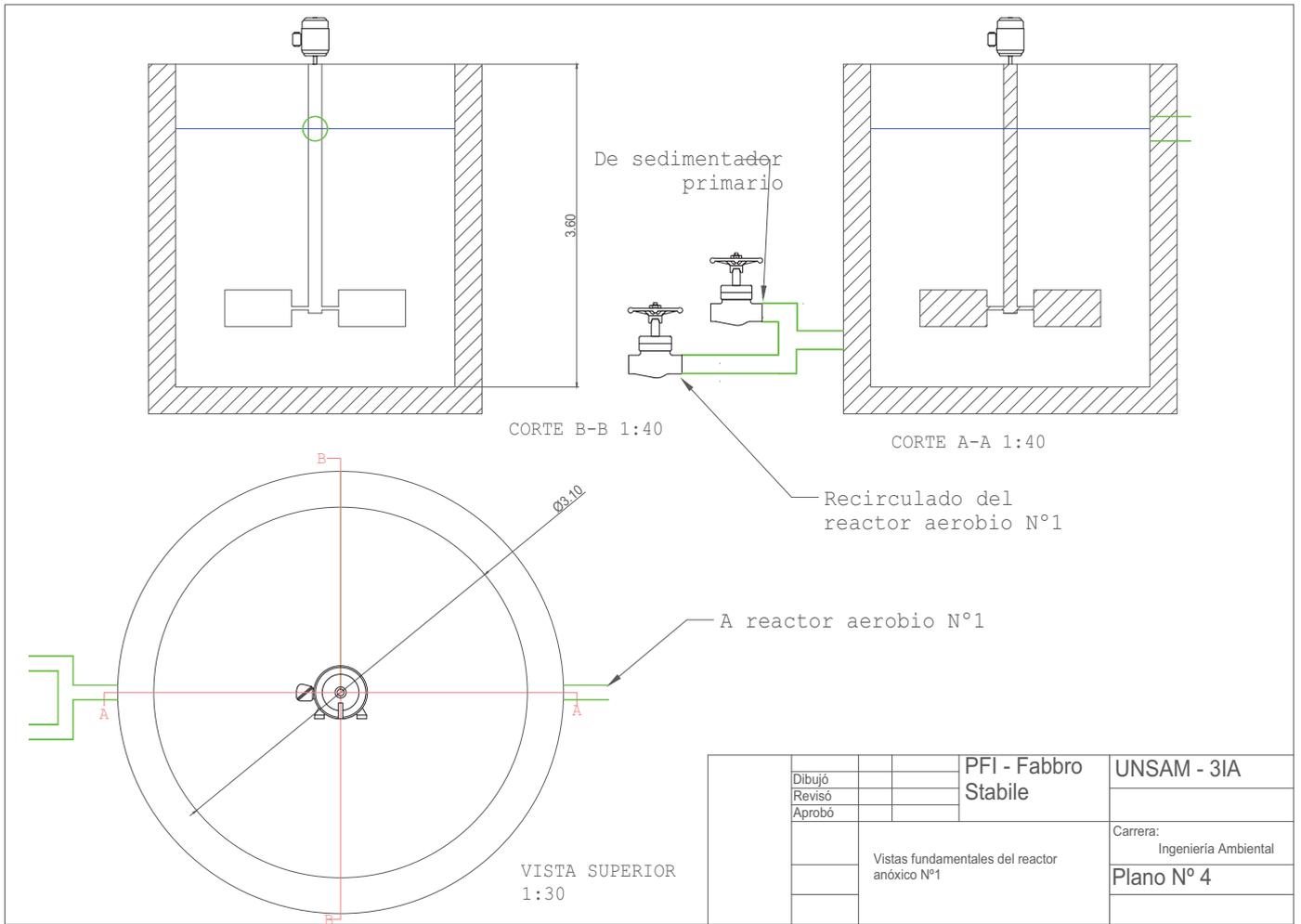
Carrera:
Ingeniería Ambiental
Plano N° 1



| | | | |
|--|--|-------------------------|----------------------------------|
| Dibujó | | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| Revisó | | | |
| Aprobó | | | |
| Vistas fundamentales del tanque de eculización | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | Plano N° 2 |
| | | | |

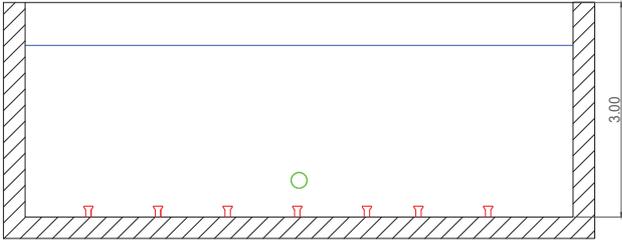


| | | | | |
|--------|--|--|-------------------------|----------------------------------|
| | | | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| Dibujó | | | | |
| Revisó | | | | |
| Aprobó | | | | |
| | Vistas fundamentales del sedimentador primario | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | | Plano N° 3 |
| | | | | |

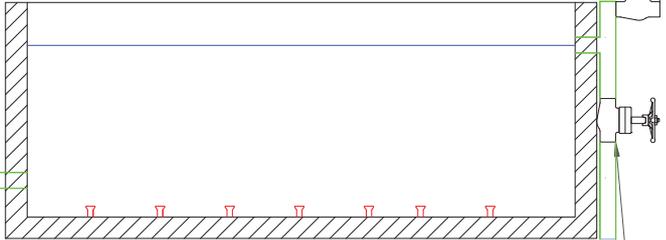


| | | | | |
|--------|--|--|-------------------------|----------------------------------|
| | | | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| Dibujó | | | | |
| Revisó | | | | |
| Aprobó | | | | |
| | Vistas fundamentales del reactor anóxico N°1 | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | | Plano N° 4 |
| | | | | |

A reactor anóxico N°2



CORTE A-A 1:50



CORTE B-B 1:50

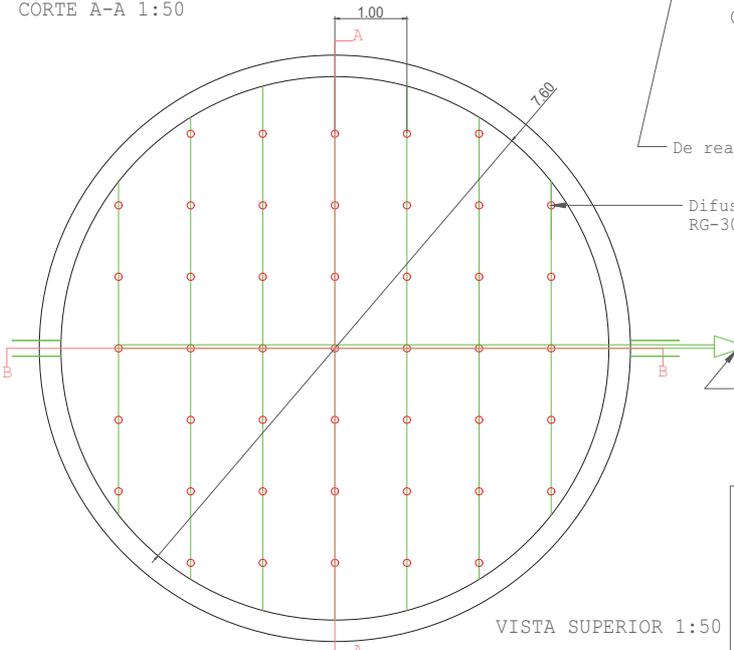
Bomba Grundfos SEG.40.09.EX.2.50B

Recirculación a reactor anóxico N°1

De reactor anóxico N°1

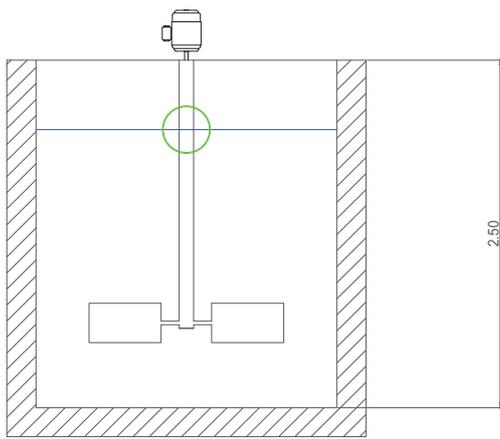
Difusores Repicky RG-300 (45 difusores)

Ingreso de aire comprimido desde sala de sopleros (Soplador Repicky R100)



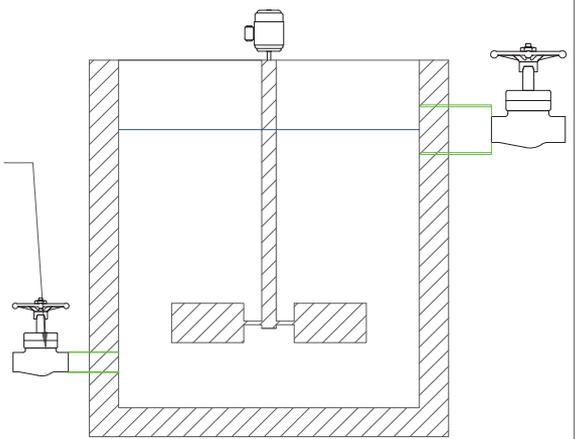
VISTA SUPERIOR 1:50

| | | |
|--|-------------------------|----------------------------------|
| Dibujó Revisó Aprobó | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | Plano N° 5 |
| Vistas fundamentales del reactor aerobio N°1 | | |

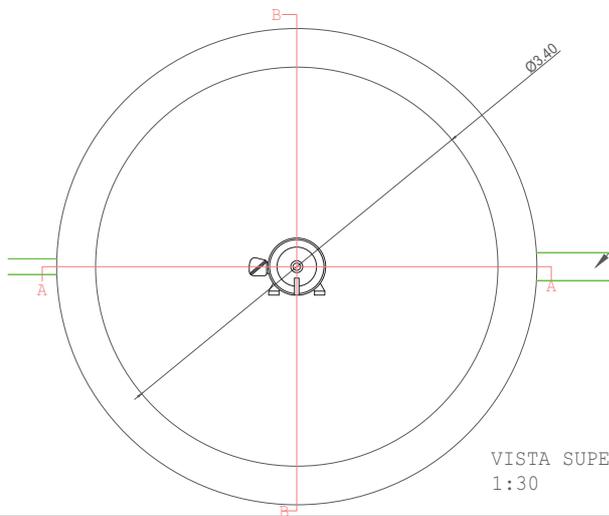


CORTE B-B 1:40

De reactor
aerobio N°1



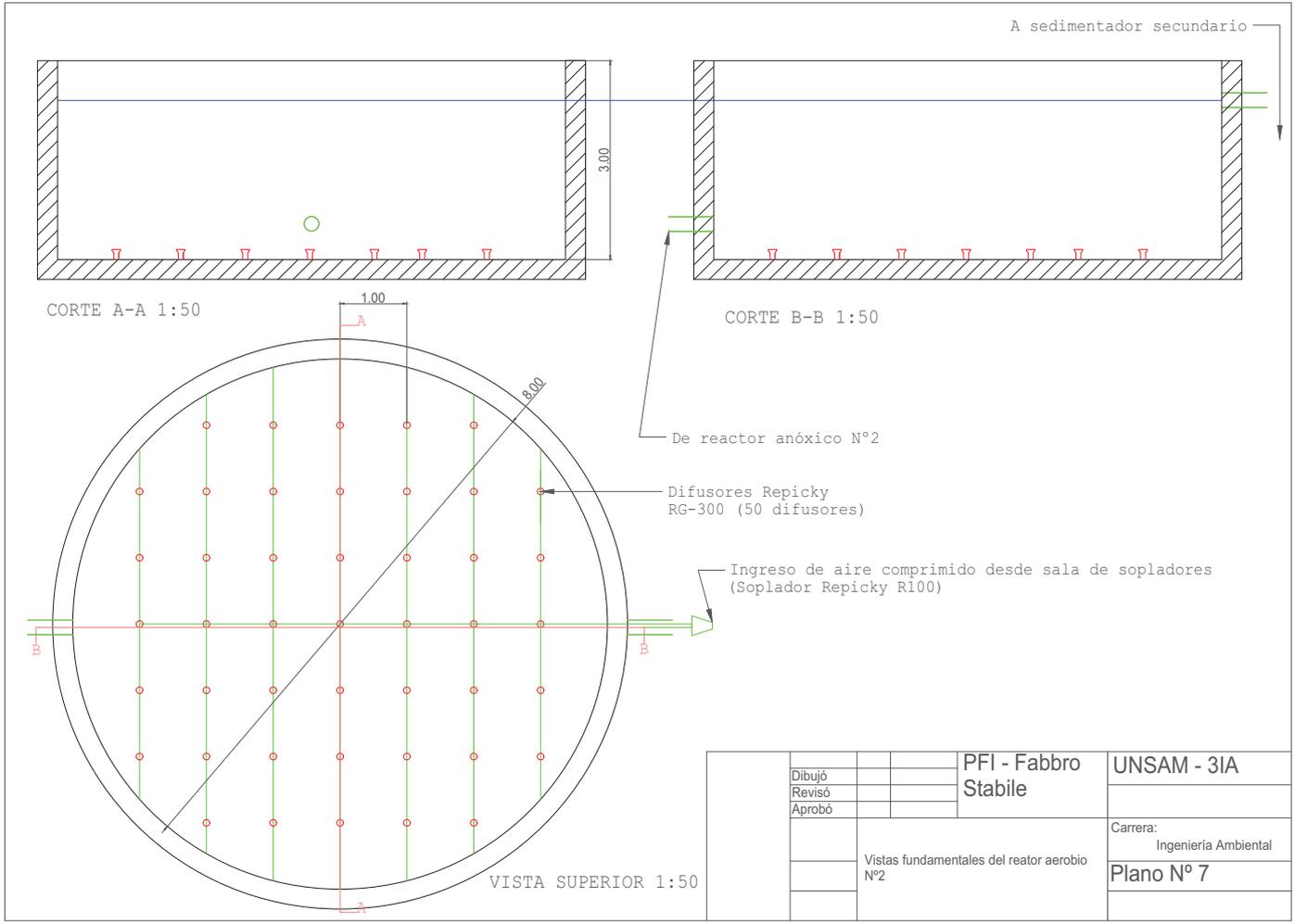
CORTE A-A 1:40



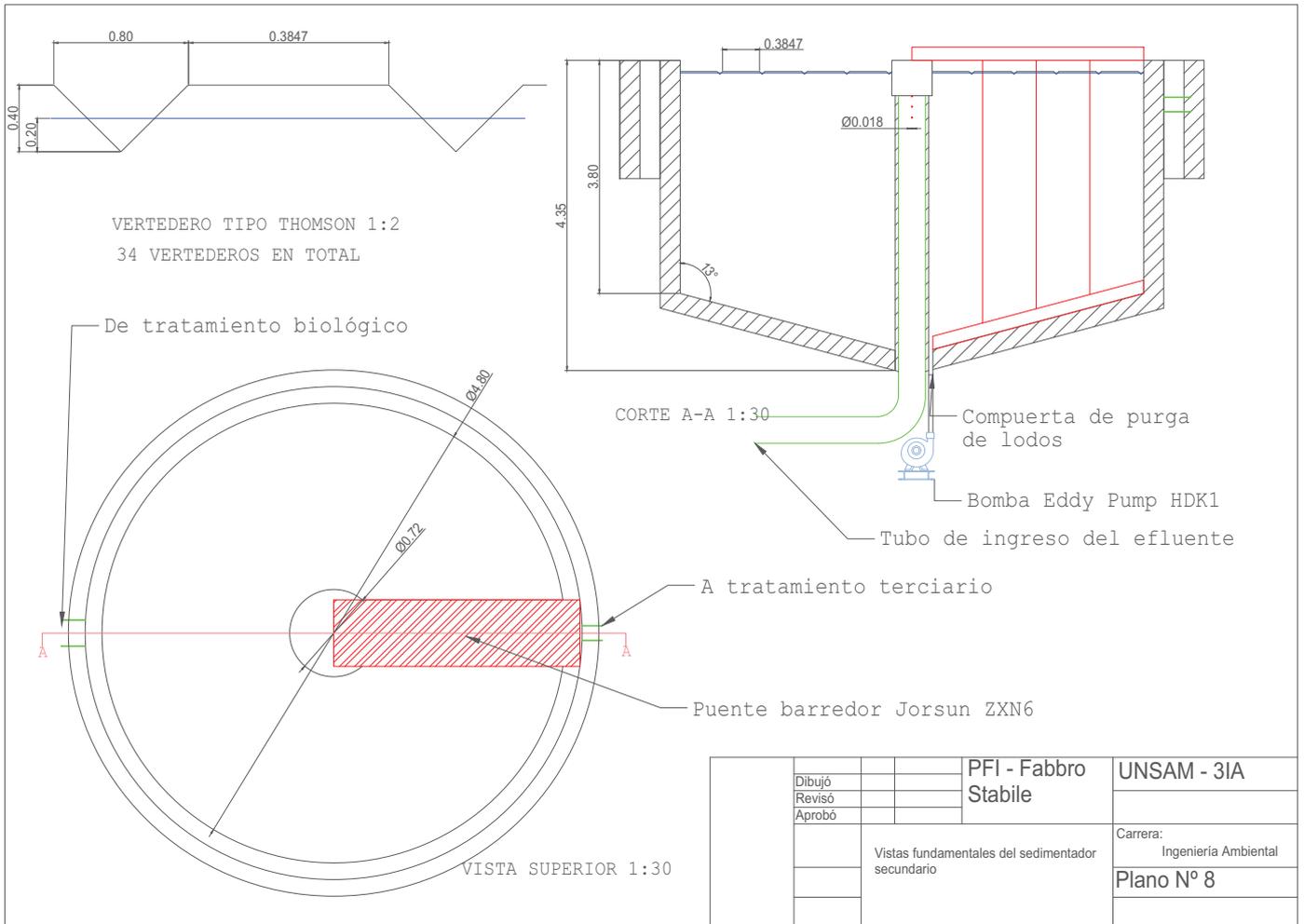
VISTA SUPERIOR
1:30

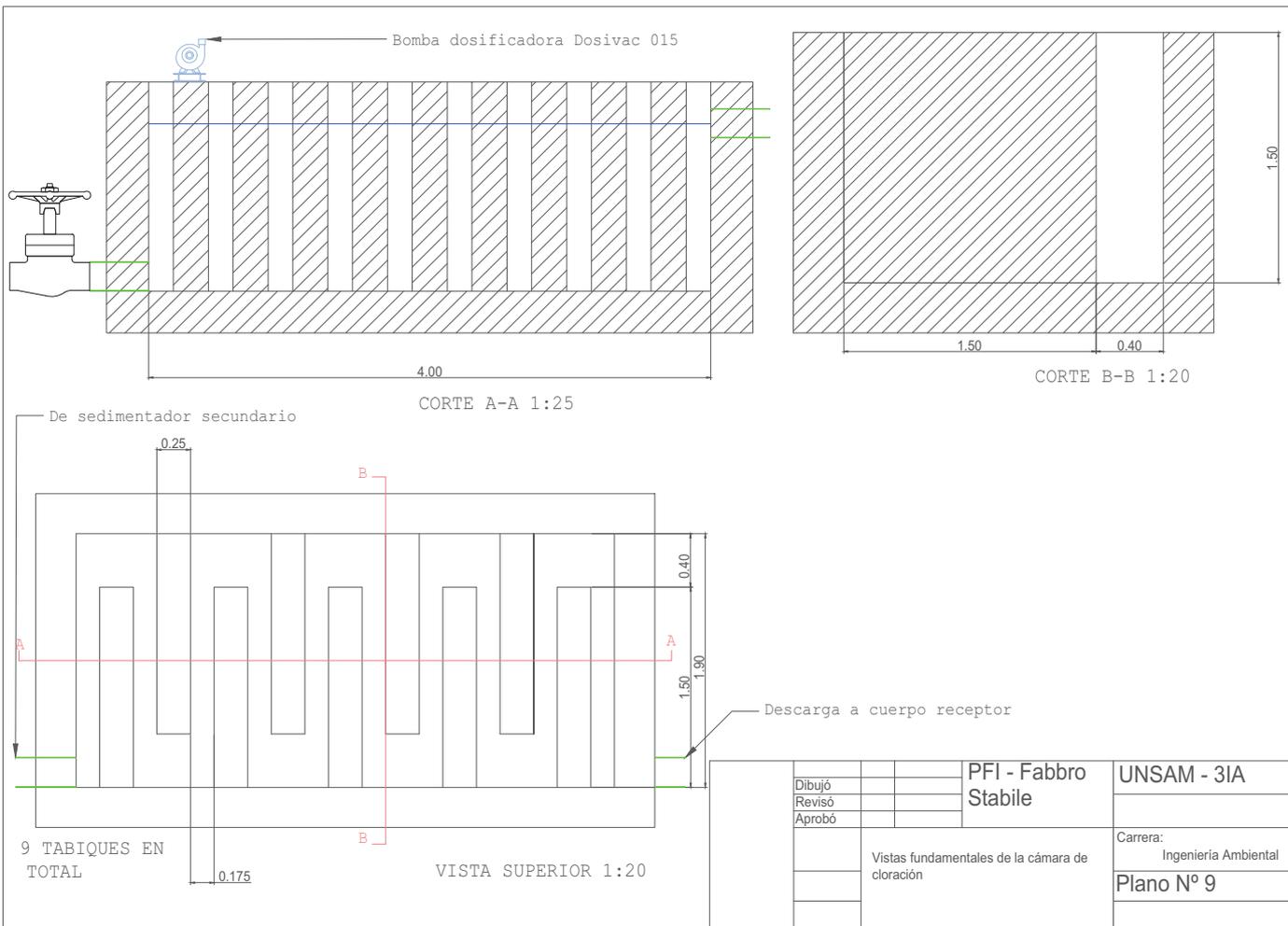
A reactor aerobio N°2

| | | | | |
|--------|---|--|-------------------------|----------------------------------|
| | | | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| Dibujó | | | | |
| Revisó | | | | |
| Aprobó | | | | |
| | Vistas fundamentales del reactor anóxico N°2 | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | | Plano N° 6 |
| | | | | |

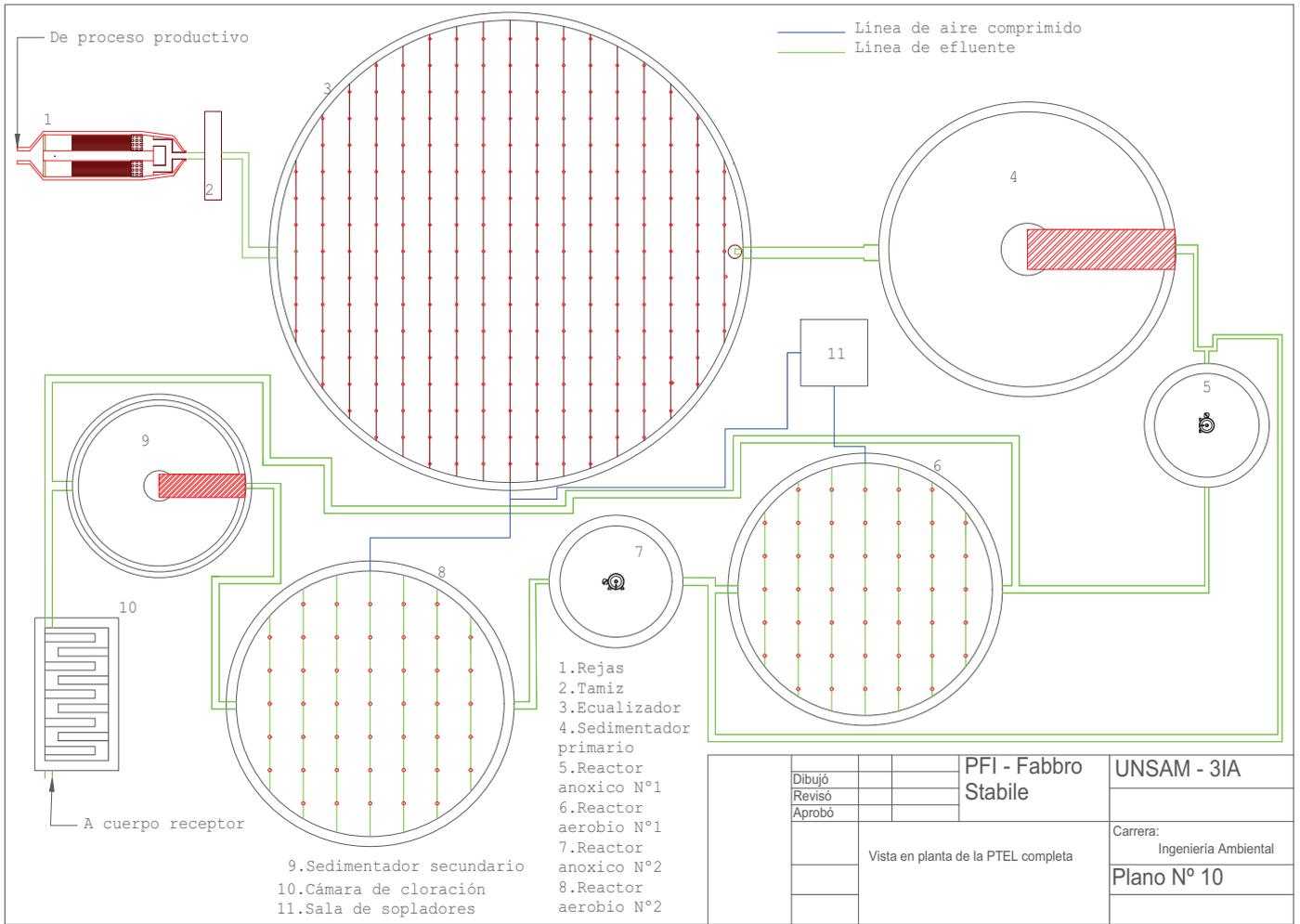


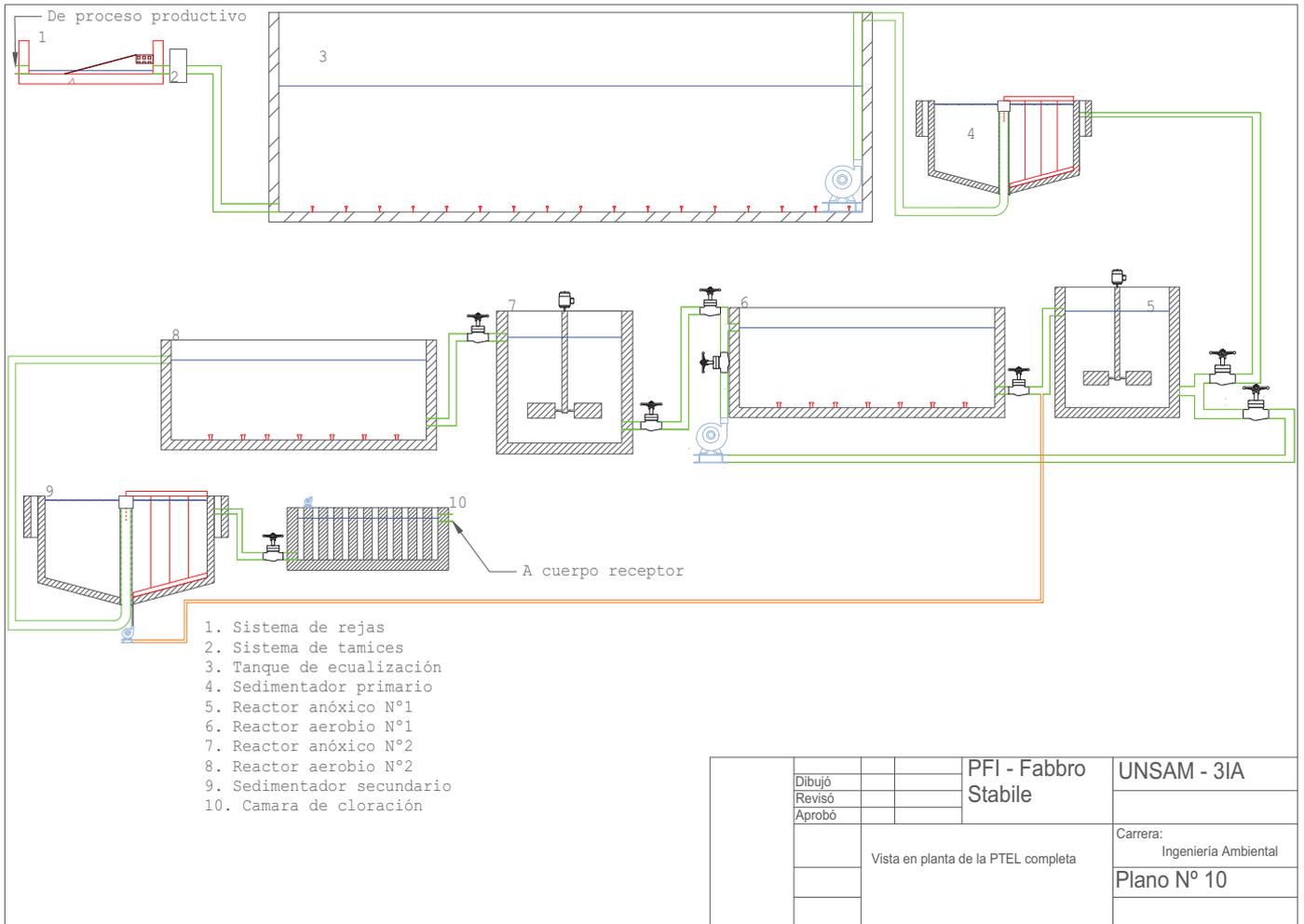
| | | | | |
|--------|--|--|-------------------------|----------------------------------|
| | | | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| Dibujó | | | | |
| Revisó | | | | |
| Aprobó | | | | |
| | Vistas fundamentales del reator aerobio N°2 | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | | Plano N° 7 |





| | | | |
|--|--|-------------------------|----------------------------------|
| Dibujó | | PFI - Fabbro Stabile | UNSAM - 3IA |
| Revisó | | | |
| Aprobó | | | |
| Vistas fundamentales de la cámara de cloración | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | Plano N° 9 |





1. Sistema de rejillas
2. Sistema de tamices
3. Tanque de equalización
4. Sedimentador primario
5. Reactor anóxico N°1
6. Reactor aerobio N°1
7. Reactor anóxico N°2
8. Reactor aerobio N°2
9. Sedimentador secundario
10. Camara de cloración

| | | | | |
|--------|-------------------------------------|--|--------------|----------------------------------|
| | | | PFI - Fabbro | UNSAM - 3IA |
| | | | Stabile | |
| Dibujó | | | | |
| Revisó | | | | |
| Aprobó | | | | |
| | Vista en planta de la PTEL completa | | | Carrera: Ingeniería Ambiental |
| | | | | Plano N° 10 |
| | | | | |